



Wydział  
Mechaniczny

Instytut Inżynierii  
Mechanicznej  
ul. Szafrana 4  
65-246 Zielona Góra

tel. (0-68) 328-22-73  
Sekretariat@iizp.uz.zgora.pl

# INŻYNIERIA

# PRODUKCJI

*Metody i techniki  
usprawniania  
procesów produkcyjnych*

Pod redakcją:  
Justyny Patalas-Maliszewskiej  
Juliana Jakubowskiego

# Z i P

# 16

ISBN 978-83-65200-12-9

Uniwersytet Zielonogórski  
Zielona Góra 2019

# **INŻYNIERIA PRODUKCJI**

*Metody i techniki usprawniania  
procesów produkcyjnych*

Pod redakcją:  
Justyny Patalas-Maliszewskiej  
Juliana Jakubowskiego

Zielona Góra 2019

**UNIwersytet Zielonogórski**  
**Rada Wydawnicza Zeszytu Naukowego Inżynieria Produkcji**  
Julian Jakubowski, Sławomir Kłos,  
Justyna-Patalas-Maliszewska, Michał Sąsiadek, Roman Stryjski, Waldemar Woźniak



**Autorzy rozdziałów:**

**Rozdział 1:** Maciej Kwiatkowski, Katarzyna Skrzypek, Karol Dąbrowski

**Rozdział 2:** Marek Sałamaj, Paweł Bourguois, Tomasz Cholewiński

**Rozdział 3:** Natalia Kratiuk, Małgorzata Śliwa, Angelika Łukaszewska

**Rozdział 4:** Natalia Fabiś, Justyna Patalas-Maliszewska

**Rozdział 5:** Daniel Dębowski, Julita Maciejewska

**Rozdział 6:** Sebastian Leśnik, Julian Jakubowski

**Rozdział 7:** Roman Kielec, Marcin Bac

**Rozdział 8:** Larisa Dyachkova

Redakcja naukowa:

**Justyna Patalas-Maliszewska**

**Julian Jakubowski**

**Recenzenci:**

**prof. Milan Edl, dr hab. inż. Grzegorz Bocewicz**

© Copyright by Instytut Inżynierii Mechanicznej  
Zielona Góra 2019

**ISBN: 978-83-65200-12-9**

## Spis treści

Przedmowa .....	5
<b>Rozdział 1</b>	
Zastosowanie wymagań normy IATF 16949 a wykorzystanie wielokryterialnych metod podejmowanie decyzji w zakresie doboru dostawców .....	7
<i>Maciej Kwiatkowski, Katarzyna Skrzypek, Karol Dąbrowski</i>	
<b>Rozdział 2</b>	
Koncepcja usprawnienia współpracy strefy produkcyjno-magazynowej przy wykorzystaniu systemu komunikacyjnego GEDIA-KOM w zakładzie produkcyjnym GEDIA Poland Sp. z o. o. ....	17
<i>Marek Salamaj, Paweł Bourguois, Tomasz Cholewiński</i>	
<b>Rozdział 3</b>	
Ocena efektywności wdrożenia systemu informatycznego wspomagającego zarządzanie gospodarką magazynową .....	37
<i>Natalia Fabiś, Justyna Patalas-Maliszewska</i>	
<b>Rozdział 4</b>	
Zastosowanie metody 5s w przedsiębiorstwie produkcyjnym – Studium przypadku ...	47
<i>Natalia Kratiuk, Małgorzata Śliwa, Angelika Łukaszewska</i>	
<b>Rozdział 5</b>	
Doskonalenie procesów produkcyjnych za pomocą narzędzi Kaizen .....	59
<i>Sebastian Leśnik, Julian Jakubowski</i>	
<b>Rozdział 6</b>	
Wpływ osiadania powłok malarskich na jakość połączeń śrubowych .....	73
<i>Daniel Dębowski, Julita Maciejewska</i>	
<b>Rozdział 7</b>	
Proces produkcyjny prototypu deski z napędem spalinowym nowej generacji .....	89
<i>Roman Kielec, Marcin Bac</i>	
<b>Rozdział 8</b>	
The effect of the nanodiamonds introduction on the properties of powder carbon steel .....	103
<i>Larisa Dyachkova</i>	
Bibliografia .....	113
Autorzy .....	119



## PRZEDMOWA

Szanowni Państwo,

*z wielką przyjemnością oddajemy do Państwa rąk szesnasty tom Zeszytów Naukowych „Inżynieria Produkcji”. Usprawnianie procesów produkcyjnych jest działaniem wymagającym wprowadzania określonych metod i technik w celu zwiększenia efektywności i skuteczności procesu poprzez eliminację oraz redukcję działań nie dodających wartości. Podjęcie decyzji o wdrożeniu takich rozwiązań jest decyzją strategiczną, dlatego też konieczne jest poznanie wielu przykładów wdrożeń metod i technik usprawniających proces produkcyjny w celu odpowiedzialnego podjęcia takiej decyzji w przedsiębiorstwie.*

*Książka obejmuje opisy nowych metod i technik udoskonalających proces produkcji, jak również pokazuje dobre praktyki w zastosowaniu wybranych rozwiązań w praktyce gospodarczej.*

*Rozdział pierwszy, drugi i trzeci to przykłady rozwiązań informatycznych wspierających określone obszary przedsiębiorstw. W rozdziale pierwszym zaprezentowano nowe podejście do doboru dostawcy dla przedsiębiorstwa produkcyjnego branży motoryzacyjnej łącząc z jednej strony zastosowanie wymagań normy IATF 16949, z drugiej strony wykorzystanie wielokryterialnych metod wspomagających podejmowanie decyzji. Norma IATF jest specyfikacją techniczną ISO, która łączy istniejące już normy systemowe zarządzania w obrębie globalnego przemysłu motoryzacyjnego oraz ich wymagań.*

*Drugi rozdział to przykład usprawnienia współpracy w strefie produkcyjno-magazynowej przy wykorzystaniu systemu komunikacyjnego w wybranym przedsiębiorstwie produkcyjnym. Szczególną uwagę poświęcono rozwiązaniu informatycznemu, którego zastosowanie poprawi komunikację w dziale magazynu i produkcji, jak również realizacji projektu wdrożenia tego systemu.*

*Rozdział trzeci obejmuje szczegółową charakterystykę systemów informatycznych wspomagających zarządzanie gospodarką magazynową. Na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa produkcyjnego dokonano analizy efektywności wykorzystania systemu informatycznego wspomagającego zarządzanie gospodarką magazynową.*

*Rozdziały czwarty i piąty to przykłady programów, których wdrożenie skutkuje poprawą wybranych procesów produkcyjnych. W rozdziale czwartym przedstawiono proces montażu w notacji BPMN w celu identyfikacji gniazd wymagających usprawnień w wybranym przedsiębiorstwie produkcyjnym. Pokazano również efekty wprowadzonych usprawnień procesu produkcyjnego w wyniku wdrożenia zasad 5S. W rozdziale kolejnym dokonano charakterystyki programu RPCU (Recaro Proces Ciągłego Ulepszania).*

*Pozostałe rozdziały książki pokazują integrację dyscypliny naukowej inżynierii produkcji z inżynierią mechaniczną. W rozdziale szóstym przedstawiono problem pomijania w procedurach obliczeniowych grubości powłok antykorozyjnych i malarskich oraz badania wpływu osiadania poszczególnych warstw na jakość połączenia. Na praktycznym przykładzie drzwi kabiny maszyny przedstawiono obliczenia osiadania materiałowego trzech połączeń śrubowych zgodnie z wytycznymi VDI 2230 a następnie porównano z obliczeniami osiadania przy pełnym systemie malarskim. Rozdział siódmy to opis procesu produkcji prototypu produktu: deski z napędem spalinowym. W rozdziale ósmym pokazano proces badania wybranego materiału pod kątem m.in.*

wytrzymałości i odporności na zużycie i ciśnienie zatarcia badanej stali w celu dalszego udoskonalania procesów.

Autorami poszczególnych rozdziałów są studenci i absolwenci studiów pierwszego i drugiego stopnia kierunków Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Mechanika i Budowa Maszyn , Biznes Elektroniczny wraz z opiekunami naukowym, w większości pracownikami Instytutu Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Zielonogórskiego oraz zaproszeni profesorowie z zagranicznych ośrodków naukowych.

Obecny tom „Inżynieria Produkcji” przeznaczony jest nie tylko dla teoretyków zajmujących się badaniami w obszarze usprawnień procesów produkcyjnych, ale również dla praktyków poszukujących interesujących rozwiązań problemów występujących w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Firma produkcyjna jest konkurencyjna na rynku, nie tylko ze względu na wysoką jakość oferowanych produktów i usług, ale także poprzez wdrażanie nowych rozwiązań i technologii.

Życzymy Państwu przyjemnej lektury.

# **ZASTOSOWANIE WYMAGAŃ NORMY IATF 16949 A WYKORZYSTANIE WIELOKRYTERIALNYCH METOD PODEJMOWANIE DECYZJI W ZAKRESIE DOBORU DOSTAWCÓW**

## **1. WPROWADZENIE**

Branża motoryzacyjna cechuje się globalnym zasięgiem, wysokim poziomem umiędzynarodowienia współpracy oraz dynamicznym tempem rozwoju. Te właśnie cechy spowodowały, że producenci pojazdów uznali, że nie możliwy jest rozwój bazujący tylko na własnym potencjale. Stąd też tak ważnym etapem procesu zarządzania przedsiębiorstwem stało się zarządzanie relacjami z dostawcami. Jednakże zlecenie wykonania zadania na zewnątrz obarczone jest ryzykiem. Rozwiązaniem miało być wprowadzenie spójnych i usankcjonowanych standardów, które zaimplementowane u zleceniobiorcy definiowałyby go jako gotowego zrealizować dane zlecenie [11]. Omawiana w artykule norma IATF 16949 jest specyfikacją techniczną ISO, która jest następczynią normy ISO/TS. W nowej normie rozwinięte zostały wymagania jakościowe systemu zarządzania jakością w firmach powiązanych z branżą motoryzacyjną. Standard ten wraz z obowiązującymi w przemyśle wytwórczym pojazdów specyficznymi wymaganiami klienta, a także wymaganiami stawianymi przez normy jakościowe ISO 9000 i ISO 9001, określa podstawowe wymagania dotyczące systemu zarządzania jakością w produkcji seryjnej oraz w produkcji części serwisowych w branży motoryzacyjnej.

Norma ta została opracowana przez branżową Międzynarodową Grupę Zadaniową Motoryzacji (IATF). Głównym celem było polepszenie jakości w ramach łańcucha dostaw oraz procesu certyfikacji. Grupa ta zrzesza ze sobą dziewięć największych międzynarodowych producentów samochodów takich jak: BMW, Daimler Chrysler, Fiat, Ford Motor Company, General Motors Corporation, PSA Peugeot - Citroen, Renault i Volkswagen oraz krajowe stowarzyszenia handlowe AIAG (Ameryka), VDA (Niemcy), SMMT (Wielka Brytania), ANFIA (Włochy) i FIEV (Francja) oraz pierwszy raz ( od 2017 rok) w pracach nad tym standardem udział wzięło stowarzyszenie japońskich producentów pojazdów (JAMA) [11]. Wszyscy producenci samochodów, którzy zrzeszeni są normą IATF wymagają certyfikacji potwierdzającej zgodność ze specyfikacją od każdego z dostawców. Co więcej, dostawcy ci zobligowani są do postawienia tych samych wymagań swoim dostawcom, przez co w całym łańcuchu dostaw wymagana jest certyfikacja [12]. Ponadto certyfikacja na zgodność z IATF 16949 może też być wymagana przez innych producentów samochodów w celu potwierdzenia wdrożonej przez dostawców



idei nastawienia na klienta. Powyższy standard nie stanowi odrębnego dokumentu, lecz powinien być traktowany, jako uzupełnienie ISO 9001 i stosowany wraz z tą normą jakościową.

Omawiana norma może być stosowana we wszystkich firmach, zarówno małych jak i dużych oraz w korporacjach, dostarczających materiały, komponenty, podzespoły i usługi na linie produkcyjne lub montażowe motocykli, samochodów osobowych, dostawczych i ciężarowych. Wielkość firmy oraz lokalizacja nie mają znaczenia, ponieważ mogą znajdować się w dowolnym miejscu na świecie.

Norma ma zastosowanie tylko dla tych zakładów, w których produkcja lub części serwisowe są wytwarzane na potrzeby rynku motoryzacyjnego. Aby firma mogła uzyskać certyfikat, powinna współpracować z co najmniej jednym klientem motoryzacyjnym. O certyfikat mogą się ubiegać tylko firmy posiadające dojrzały system zarządzania jakością, o czym mają zaświadczyć zapisy jakości za ostatnie 12 miesięcy [13].

Złożoność i dynamika procesów zachodzących w przedsiębiorstwach produkcyjnych determinuje konieczność stosowania metod systematyzujących dane, z których wyciągane będą konkretne wnioski, a następnie decyzje. W tym celu zastosowanie mają metody wielokryterialnego podejmowania decyzji. W publikacji opisano trzy spośród całej gamy metod: FAHP, FTOPSIS oraz SMART.

Celem publikacji jest przedstawienie norm obowiązujących w branży motoryzacyjnej oraz zaprezentowanie wybranych metod analizy decyzyjnej (metody wielokryterialne) w kontekście doboru dostawców. Porównanie narzędzi analizy decyzyjnej w zakresie doboru dostawców, narzuconej przez stosowanie normy IATF (średnia ważona) z wybranymi metodami wielokryterialnymi (FAHP, FTOPSIS, SMART).

## **2. NORMA ISO/TS 16949**

Od marca 1999 czyli od daty wydania pierwszej specyfikacji ISO/TS 16949 do chwili obecnej wydano ponad 54 800 certyfikatów, głównie w trzech obszarach biznesowych obu Ameryk, Europy i Azji. ISO/TS 16949 zostało opracowane przez International Automotive Task Force (IATF) w celu ujednoczenia różnych systemów oceny i certyfikacji w globalnym łańcuchu dostaw dla branży motoryzacyjnej. Dzięki temu wszyscy dostawcy na każdym etapie w łańcuchu dostaw w branży motoryzacyjnej zostali zobligowani do zastosowania norm określonych w ISO/TS 16949. Powyższa norma miała swoje kolejne wydania w 2002 roku oraz 2009, które były związane z dostosowaniem ISO/TS 16949 do wprowadzonych zmian w branży motoryzacyjnej oraz aktualizacją normy ISO 9001 [14]. Wprowadzenie i zastosowanie powyższej normy w 1999 roku miało znaczący wpływ na kształtowanie się rynku motoryzacyjnego, który od tamtej pory ściśle jest związany z normami jakościowymi, ale zwłaszcza tymi branżowymi, które szczegółowo określają normy na poszczególnych etapach produkcji pojazdów mechanicznych. Przedstawia wspólny zestaw metod i technik kluczowych, dla rozwoju produktu i procesu w globalnym systemie.

### 3. NORMA IATF 16949

Ze względu na ciągły rozwój branży motoryzacyjnej i stawiane jej nowe wyzwania związane m.in. z emisją spalin oraz doświadczenia globalnego kryzysu finansowego lat 2007 – 2009 [10] (branża motoryzacyjna, ze względu na ogólnoświatowy charakter i wysoki poziom międzynarodowej współzależności, silnie odczuła jego skutki) w 2016 roku powstała norma IATF 16949, która jest rozwinięciem wcześniejszych norm z serii ISO/TS, a przy jej tworzeniu udział miały jednostki certyfikujące, audytorzy, dostawcy producentów pojazdów oraz Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ISO). Współpraca IATF z ISO ma na celu zapewnienie ciągłej zgodności z normą ISO 9001. Jako nadrzędny cel normy IATF 16949 stawiany jest rozwój systemu zarządzania jakością, zapewniającego ciągłe doskonalenie. Szczególna uwaga skierowana jest przede wszystkim na zapobieganiu błędom oraz redukcji zmienności i strat w łańcuchu dostaw. IATF 16949 jest innowacyjną normą ze względu na bardzo silną orientację na klienta, a także ujęcie wielu wcześniejszych specyficznych wymagań klientów w skonsolidowanej i ujednocionej formie. Jest swego rodzaju rozszerzeniem normy ISO 9001 o aspekty ściśle związane z branżą motoryzacyjną [14]. Określone w niej wymagania dotyczące systemu zarządzania jakością dla projektowania i rozwoju, produkcji i, jeżeli ma to zastosowanie, dla montażu, instalacji i serwisu wyrobów wykorzystywanych w przemyśle branżowym. Istotne jest to, iż powyższe wymagania mają zastosowanie na każdym etapie w łańcuchu dostaw. Dlatego też dostawcy producentów są zobligowani do restrykcyjnego sprawdzania jakości swoich produktów zgodnie z normą IATF 16949, która mówi o zgodności poszczególnych elementów z wytycznymi producenta oraz o wpływie na bezpieczeństwo lub zgodność z przepisami, a także o ich funkcjonalności. Zgodnie z zapisami w normie dostawcy powinni zapewnić zgodność wszystkich swoich wyrobów i procesów, również części serwisowych włącznie z tymi zleconymi na zewnątrz ze wszystkimi mającymi zastosowanie wymaganiami klienta, prawnymi i regulacyjnymi.

Należy zwrócić szczególną uwagę na korzyści jakie niesie za sobą wdrożenie normy IATF 16949 w przedsiębiorstwie z branży motoryzacyjnej. Do korzyści tych zalicza się m.in.:

- uzyskanie licencji pozwalającej na prowadzenie handlu międzynarodowego i rozszerzenie swego biznesu,
- redukcje odpadów i zapobieganie defektom (specyfikacja wymaga podejścia procesowego do zarządzania jakością, co umożliwia poznanie wzajemnych powiązań między procesami, rozpoznanie istniejącego ryzyka i opanowanie go lub zminimalizowanie jego skutków),
- elastyczność i łatwa adaptacja do wymagań (norma IATF 16949 opiera się na normie ISO 9001, dzięki czemu filozofia procesowa jest łatwa do zaadoptowania i zintegrowania z innymi kluczowymi systemami zarządzania, w tym ISO 14001 Zarządzanie środowiskowe oraz OHSAS 18001 Bezpieczeństwo i higiena pracy, uzupełnia ona też wiele istniejących narzędzi doskonalenia biznesowego, takich jak FMEA, PPAP, MSA, SPC i Lean Manufacturing),

- pomagają zrozumieć kontekst i otoczenie organizacji, zidentyfikować i analizować zagrożenia i szanse płynące z zewnątrz jak i wewnątrz organizacji,
- wymagania dotyczące najwyższego kierownictwa nie ograniczają się już wyłącznie do zarządzania, a zmieniają się na wymagania dotyczące przywództwa (poprzez zwiększenie nacisku i zakresu odpowiedzialności najwyższego kierownictwa, organizacja otrzymuje większe wsparcie i w efekcie tego bardziej skuteczny i efektywny system zarządzania),
- zobowiązuje organizację do usystematyzowanej identyfikacji, analizy i wdrażania wymagań dotyczących wyrobów, procesów, bezpieczeństwa, wymagań prawnych oraz specyficznych wymagań klientów,
- wizerunek marki - certyfikacja daje dodatkową pewność i gwarancję spójności wszystkim zainteresowanym stronom uczestniczącym w globalnej wymianie produktów, co otwiera nowe możliwości biznesowe i przyciąga inwestorów,
- nowe szczegółowe wymagania ułatwiają i usprawniają identyfikację wyrobów,
- certyfikacja na zgodność z IATF 16949 jest dzisiaj uznawana przez wszystkich producentów samochodów na świecie i nawet gdy nie jest przez wszystkich wymagana, to posiadanie certyfikatu zawsze podnosi wartość potencjalnego dostawcy dla branży motoryzacyjnej [12].

Zatem wprowadzenie normy IATF 16949 z punktu widzenia producentów pojazdów wspiera i poprawia jakość materiałów i półproduktów do wytworzenia pojazdów ale jednocześnie nadaje im nadrzędne kierownictwo nad całym procesem wytworzenia i jego kontrolowanie. Natomiast z punktu widzenia dostawców nakreśla ona wyraźną charakterystykę jakościową wyrobów, która ściśle jest związana z normą ISO 9001:2015. Dostawcy ponoszą pełną odpowiedzialność za jakość wyrobów i usług. Również dostawca odpowiada za spełnienie wymagań w obrębie swojej organizacji oraz za spełnienie wymagań przez swoich dostawców. Wszelkie wymagania skierowane na dostawców są kreowane i kontrolowane przez producentów, dlatego każde zmiany czy to w technologii wytwarzania produktu czy też zmiany sposobu kontrolowania jakości produktu muszą być zatwierdzone przez klienta. To na dostawcy spoczywa obowiązek zapewnienia odpowiedniej jakości produktów zgodnie z normą oraz wewnętrznymi ustaleniami.

#### **4. WYBÓR DOSTAWCY WG NORMY IATF 16949**

Najważniejsze wymagania wobec dostawców skupiają się wokół:

- planowania realizacji produktu,
- poufności,
- komunikacji z klientem,
- determinowaniu i przeglądaniu wymagań, charakterystykach specjalnych, analizie wykonalności,
- planowania w projektowaniu i rozwoju, kompetencji projektowych, informacji wejściowych do projektowania, charakterystyk specjalnych, monitorowania, walidacji,

prototypów, zatwierdzania produktów, danych wyjściowych z projektowania, zmian w procesie projektowania i rozwoju,

- procesu wyboru dostawców w zakresie uregulowań i wymagań prawnych, QMS dostawców, oprogramowania, monitorowania dostawców, audytów drugiej strony, rozwoju dostawców,
- procesu realizacji produktów i usług: control plan, standaryzacji pracy, procesu weryfikacji, TPM, narzędzi i sprzętu, planowania produkcji, nadzoru nad zmianami,
- procesu zwolnienia produktów i usług: testów, wymagań estetycznych, kryteriów,
- kontroli wyników niezgodnych: odstępstw, specyficznych wymagań klienta, wyrobów podejrzanych, produktów poprawianych, komunikacji z klientem, dyspozycji produktu [14].

Norma IATF 16949 obszarem oddziaływania obejmuje całość funkcjonowania przedsiębiorstw w środowisku dostawców i producentów branży motoryzacyjnej. Dlatego też proces wyboru dostawców również został w niej opisany. W normie znajdują się określone parametry według, których wybiera się przyszłych dostawców. Dla każdego producenta wybór dostawców jest kluczowym elementem całego procesu wytwarzania pojazdów, dlatego też już na etapie wyboru przeprowadzana jest analiza i weryfikacja możliwości potencjalnych dostawców. Szczególna uwaga jest kierowana na jakość oferowanych produktów, aby była tożsama z jakością produkowanych pojazdów oraz z marką producenta. W dobie konkurencyjności na rynku, jednym z celów producentów pojazdów jest umacnianie pozycji marki m.in. poprzez działalność marketingową czy też szeroko rozwiniętą politykę jakości, która dotyczy każdego procesu od wydobycia, wytwarzania materiałów, półproduktów, aż do gotowego pojazdu i jego utylizacji. Wprowadzenie parametryzacji wyników analiz oraz obiektywnych wskaźników operacyjnych pozwala na wybór najlepszego dostawcy oraz kontrolę poszczególnych działań wewnątrz przedsiębiorstwa. Współpraca pomiędzy dostawcami, a producentem według zapisów w normie powinna odbywać się na zasadach partnerskich, które prowadzą do wspólnego doskonalenia produktów składowych pojazdów. Poprzez monitorowanie jakości, narzędzia do optymalizacji procesów wzmacniają się relacje pomiędzy partnerami co prowadzi do podtrzymania długoterminowych relacji.

W normie IATF 16949 zostały przedstawione elementy, które powinny zostać zawarte w udokumentowanym procesie wyboru dostawców. Są to m.in.:

- ocena ryzyka dla danego dostawy związaną ze zgodnością wyrobów oraz zapewnienia ciągłości dostaw wyrobów,
- jakość wyrobów oraz wyniki na odpowiednim poziomie,
- ocena systemu zarządzania jakością dostawcy,
- interdyscyplinarny proces podejmowania decyzji oraz ocenę możliwości rozwoju oprogramowania.

Zostały również określone kryteria jakie należy rozważyć przy wyborze dostawcy:

- wielkość produkcji dla motoryzacji,
- stabilność finansową,
- złożoność kupowanego wyrobu, materiału lub usługi,

- wymaganą technologię,
- adekwatność dostępnych zasobów tj. personel, infrastruktura,
- możliwości w zakresie projektowania i rozwoju,
- planowanie w zakresie zapewnienia ciągłości biznesu,
- procesy logistyczne,
- obsługę klienta [14].

Przyjęcie kryteriów wspomaga wybór dostawców oraz pozwala na optymalizację procesu jego wyboru. Poprzez mierzalne mierniki można dokonać wyboru dostawcy, wcześniej weryfikując oraz analizując brane pod uwagę kryteria. W normie została zaproponowana metoda punktowa, która ma wspomóc proces wyboru dostawców. Przedsiębiorstwo przy wyborze dostawcy może wykorzystać metodę punktową, która jest prostą metodą analityczną. Jej głównymi zaletami są prostota i niski koszt wykonania. Metoda ta polega na wyborze kryteriów oceny oraz nadaniu im cech, im więcej cech tym dokładniejszy będzie wynik analizy oraz trafniejszy wybór dostawcy. Po nadaniu cech dokonuje się oceny punktowej w skali np. od 1 do 10. Po dokonaniu oceny punktowej, podsumowuje się wyniki oraz wybiera się dostawcę, który uzyskał najlepszy wynik [1].

Inną metodą wyboru dostawców jest metoda średniej arytmetycznej, w której głównym założeniem jest jednakowa waga wszystkich kryteriów. Metoda ta jednak, jest niedokładna ze względu na brak wagi poszczególnych kryteriów, dopiero nadanie wag kryteriom pozwala na dokładniejsze przeprowadzenie analizy metodą średniej ważonej. Zaletą tej metody jest prostota przygotowania oraz możliwość graficznego zaprezentowania wyniku, a także dokonanie oceny procentowej, dzięki której przedstawiony zostanie obraz dostawców, którzy spełniają i nie spełniają oczekiwań przedsiębiorstwa [6].

Zarówno metoda punktowa jak i średniej arytmetycznej ważonej mają swoje wady. Są to metody proste ale też niedokładne, przez co podjęcie decyzji wiąże się z większym ryzykiem. Są one także metodami subiektywnymi, przez co każdorazowe przeprowadzenie analizy może dawać inne wyniki.

## **5. WIELOKRYTERIALNE METODY PODEJMOWANIA DECYZJI**

Podjęcie decyzji w sposób wielokryterialny nabrało większego znaczenia i popularności w latach 80 ubiegłego wieku, zjawisko to trwa do dziś. Powstają nowe metody wielokryterialnego podejmowania decyzji oraz dokonuje się zmian w starych metodach aby dostosować je do obecnie panujących warunków. Istotą tych metod jest wspomaganie podjęcia decyzji, często tych kluczowych i ściśle związanych ze strategią przedsiębiorstwa czy jednostki administracyjnej [2].

### **5.1. Metoda Fuzzy Analytic Hierarchy Process**

Jedną z wielokryterialnych metod podejmowania decyzji jest FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process). Jest to jedna z metod, która pozwala kwantyfikować czynniki, które w sposób znaczny wywierają wpływ na rozwój przedsiębiorstwa czy organizacji [9].

Decydując się na tę metodę należy postawić cel główny, z jakim powinna zmierzyć się organizacja. Dla przedsiębiorstwa produkcyjnego z branży motoryzacyjnej, jednym z głównych celów będzie, satysfakcja klienta z produktów. Natomiast jednym z celów pośrednich, które wpływają na realizację celu głównego jest wybór dostawcy materiałów do produkcji elementów składowych pojazdów. Każdy z celów pośrednich składa się z pakietu zadań, które trzeba zrealizować, aby stopień realizacji celów pośrednich jaki i głównego był możliwie jak najwyższy. W tej metodzie ważne jest, aby cele strategiczne zostały określone na podstawie metody Chang'a. Polega ona m. in. na przedstawieniu głównego celu, który ma zostać zrealizowany przez przedsiębiorstwo, w celu uzyskania wyższego stopnia zadowolenia odbiorców. Następnie wskazuje się cele podrzędne, dzięki którym realizacja celu głównego będzie wieloetapowa. Cele podrzędne zawierają szereg działań do realizacji, które są wymagane, aby osiągnąć jak najwyższy stopień realizacji celu. Stawiane cele powinny powodować rozwój jednostki w celu osiągnięcia przewagi konkurencyjnej. Zrównoważony rozwój jest elementem, który na zasadzie małych kroków, w sposób przemyślany i rozsądny przybliża jednostkę do realizacji celu. Zatem przedsiębiorstwo produkcyjne z branży motoryzacyjnej chcąc być bardziej atrakcyjnym kooperantem będzie dążyło do wyboru możliwie jak najlepszego dostawcy na podstawie wcześniej przygotowanych wskaźników. Wskaźniki te są subiektywne, ponieważ zostały wybrane przez ekspertów, którymi mogą być członkowie zarządu. Za pomocą skali preferencji Saaty'ego dokonuje się obliczenia priorytetów celów oraz zadań [3]. Zatem metoda FAHP jest przydatna w określeniu celu strategicznego dla przedsiębiorstwa oraz określeniu priorytetów i ważności zadań pośrednich jednakże, obciążona jest subiektywnością autorów wskaźników, przez co nie zawsze będzie ona optymalnym rozwiązaniem. Nie mniej jednak metoda ta pozwala na określenie wpływu poszczególnych zadań na realizację celu głównego oraz wskazanie ich ważności, co pozwala na określenie priorytetowości realizacji zadań w taki sposób, aby cel główny został zrealizowany w najwyższym stopniu.

## 5.2. Metoda FTOPSIS

Metoda FTOPSIS jest jedną z częściej stosowanych metod wielokryterialnych. Pierwsze wzmianki o tej metodzie można spotkać w publikacji autorstwa C.L. Hwang i K. Yoon z 1981 roku [5]. Metoda ta polega na skonstruowaniu cechy syntetycznej i wyznaczeniu odległości każdego obiektu wielocechowego od wzorca i antywzorca rozwoju. Jest narzędziem, które ułatwia proces podejmowania ważnych decyzji. Jej czynnikiem wyróżniającym jest wspomniany wcześniej wzorec i antywzorec, poprzez które przedstawiane są najlepsze i najgorsze rozwiązania. Metoda ta została uznana za jedno z najlepszych narzędzi do podejmowania decyzji w sytuacji, gdy nie posiadamy pewnych i rzetelnych danych jak ma to miejsce w przypadku wyboru dostawców. Podejmowanie decyzji ułatwia możliwość przedstawienia ocen wariantów metodą opisową. FTOPSIS jest metodą, w której nie występuje subiektywizm, dlatego jest jedną z najdokładniejszych metod podejmowania decyzji [7]. Wykorzystuje się ją nie tylko do wyboru dostawców ale również w przypadkach wyboru projektu, oceny ryzyka, wyboru lokalizacji obiektu czy oceny stron internetowych. Od pewnego czasu mamy do czynienia z integracją metod FAHP i FTOPSIS co skutkuje dokładną analizą przed podjęciem decyzji [4]. Zatem

wykorzystywanie metod wielokryterialnych do podejmowania kluczowych i strategicznych decyzji jest bardzo istotne dla funkcjonowania organizacji, ponieważ podjęcie ważnych decyzji wiąże się z danymi efektami, tychże decyzji. Więc jeśli organizacja dzięki metodom wielokryterialnym takimi jak FAHP, FTOPSIS lub za pomocą obu podejmię decyzję, ograniczy w znaczący sposób niepowodzenie przyjętej strategii, ale jednocześnie wybierze jedno z najlepszych możliwych rozwiązań [8].

### 5.3. Metoda SMART

Kolejną metodą wyboru dostawcy może być metoda SMART, która wspomaga prawidłowe definiowanie celów, dzięki czemu wzrasta szansa na ich osiągnięcie. Wyznaczenie celów zgodnie z tą zasadą wymaga uważnego przeanalizowania tego co chcemy osiągnąć. W momencie gdy się zdecydujemy na zarządzanie przez metodę S.M.A.R.T., musimy pamiętać o najważniejszych 2 krokach, które należy podjąć. Na początku, należy wyłumaczyć pracownikom, co jest robione, dlaczego i w jaki sposób jest to robione. W drugim etapie, należy określić cele, które mogą być wyzwaniem, dlatego należy włączyć do dyskusji pracowników. Aby analiza była skuteczna postawiony cel musi być szczegółowy, mierzalny, atrakcyjny, realny oraz terminowy.

## 6. PODSUMOWANIE

Reasumując cała branża motoryzacyjna jest ściśle ze sobą powiązana i wszelkie obowiązujące normy takie jak IATF 16949 dotyczą każdego przedsiębiorstwa, które kooperuje z producentem pojazdów. Dostawcy producenta pojazdów są zobligowani do postawienia takich samych wymagań swoim dostawcom, aby surowce, półprodukty i produkty do produkcji pojazdów spełniały wszystkie wymagania na każdym etapie procesu wytwórczego. Dzięki zastosowaniu norm jakościowych wiele aspektów dotyczących certyfikowania dostawców zostało ujednoczonych i zunifikowanych. Obecnie certyfikowani są ci dostawcy, którzy biorą udział w procesie wytwórczym pojazdów. Istotnym jest fakt iż, norma IATF 16949 powinna być traktowana jako uzupełnienie ISO 9001 o aspekty branży motoryzacyjnej. Wybór dostawcy dla tej branży nie jest łatwym procesem, ponieważ mamy tutaj do czynienia z wielokryterialną analizą decyzji co do wyboru najlepszego dostawcy spośród oferowanych. Przedstawione wcześniej metody wyboru dostawcy pozwalają ograniczyć ryzyko związane z wyborem nieodpowiedniego dostawcy. Przeprowadzenie analizy wielokryterialnej FAHP przez członków zarządu przedsiębiorstwa, pomimo subiektywności tej metody pozwala na hierarchizację dostawców poprzez, którą zostaje wybrany najlepszy dostawca, który zapewni stabilność procesu wytwórczego. Dokonane zmiany i wyodrębnienie IATF 16949 z ISO/TS w dłuższej perspektywie czasowej powinno przynieść pozytywne efekty ze względu na ujednoczenie certyfikowania oraz unifikację większości wymagań oraz norm jakościowych, przez co każdy dostawca zobligowany jest do przestrzegania tych samych norm, niezależnie od tego, jaki producent pojazdów jest jego odbiorcą.

Tab. 1. Porównanie metod wyboru dostawcy (źródło: opracowanie własne)

Metoda	Opis cechy	
średnia ważona	wady	subiektywizm, niedokładność, ograniczone zastosowanie
	zalety	prostota, szybkość wykonania, niski koszt wykonania
FAHP	wady	subiektywizm, duża ilość porównań, czasochłonność
	zalety	dokładność, użyteczność, wielokryterialność
FTOPSIS	wady	złożoność, zależność cech, czasochłonność
	zalety	dokładność, skuteczność, obiektywizm
SMART	wady	złożoność, ograniczone zastosowanie, subiektywizm
	zalety	dokładność, udział pracowników, szczegółowość

Jednakże zestawienie metody wyboru dostawców przedstawionej w normie IATF 16949 z takimi metodami jak FAHP czy FTOPSIS ukazuje jak ważne decyzje związane z wyborem dostawców mają być dokonywane na podstawie wyników prostej metody punktowej, która została przedstawiona w normie. Zaproponowana w normie metoda nie jest zła, lecz zdecydowanie dokładniejszymi i lepszymi metodami są metody tj. AHP, FAHP, TOPSIS czy FTOPSIS, z których korzystają duże koncerny przemysłu motoryzacyjnego.

## 7. LITERATURA

- [1] **K. Ficoń**, *Logistyka ekonomiczna, Procesy logistyczne*, BEL Studio, Warszawa 2008,
- [2] **A.D. Gordon**, *Classification*, Chapman and Hall, 2nd Edition, London 1999,
- [3] **A. Łuczak, F. Wysocki**, *Porządkowanie liniowe obiektów z wykorzystaniem rozmytych metod AHP i TOPSIS*, Przegląd statystyczny, 2011,



- [4] **A. Łuczak, F. Wysocki**, *Programowanie rozwoju w gminie wiejskiej z wykorzystaniem rozmytego analitycznego procesu hierarchicznego*, Studia regionalne i lokalne, 2011,
- [5] **A. Łuczak**, *Wykorzystanie rozszerzonej interwałowej metody TOPSIS do przyporządkowania liniowego obiektów*, Prace naukowe UE we Wrocławiu, Wrocław 2015,
- [6] **T. Nowakowski, S. Werbińska-Wojciechowska**, *Porównanie metod oceny i wyboru dostawców w przedsiębiorstwie – case study*, Logistyka – Nauka, 2012,
- [7] **K. Rudnik, D. Kacprzak**, *Rozmyta metoda TOPSIS wykorzystująca skierowane liczby rozmyte*, Konferencja Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji 2015,
- [8] **T. Trzaskalik**, *Modelowanie preferencji w wielokryterialnych dyskretnych problemach decyzyjnych – przegląd bibliografii*, Prace Naukowe UE we Wrocławiu 2016,
- [9] **J. W. Wang, C.-H. Cheng, H. Kun-Cheng**, *Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection*, Applied Soft Computing, 2009,
- [10] **P. Nowak**, *Funkcjonowanie sektora motoryzacyjnego w okresie kryzysu lat 2008 – 2009*, Prace komisji Geografii Przemysłu, nr 17, Warszawa – Kraków, 2001,
- [11] **K. Dąbrowski, K. Leksycki, K. Skrzypek**, *Ewolucja systemów zarządzania jakością i produkcją w przemyśle motoryzacyjnym*, Inżynieria produkcji: technologia, jakość, symulacja, Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra, 2018,
- [12] <https://www.bsigroup.com/pl> [dostęp: 09.01.2019]
- [13] <https://www.iatfglobaloversight.org> [dostęp: 09.01.2019]
- [14] <http://www.qualityaustria.com.pl> [dostęp: 09.01.2019]

# **KONCEPCJA USPRAWNIEŃ WSPÓŁPRACY STREFY PRODUKCYJNO-MAGAZYNOWEJ PRZY WYKORZYSTANIU SYSTEMU KOMUNIKACYJNEGO GEDIA-KOM W ZAKŁADZIE PRODUKCYJNYM GEDIA POLAND SP. Z O. O.**

## **1. WPROWADZENIE**

W ostatnich latach, dynamicznie rozwijający się przemysł sprawił, że na Polskim rynku powstało bardzo dużo różnych zakładów, firm i przedsiębiorstw, które działają w różnych branżach przemysłowych. W celu pozyskania tych firm do swojego regionu, wiele miast tworzy specjalne strefy przemysłowe, których zadaniem (między innymi poprzez obniżanie podatków, itp.) jest ściąganie zewnętrznego kapitału (firm), a tym samym zapewnienie im mieszkańcom pracy oraz wpływów z podatków do budżetu miasta. Tego typu migracje firm oparte w głównej mierze na kosztach ich funkcjonowania widoczne są w wielu różnych rejonach już od dłuższego czasu. Obecnie, firmy, które już jakiś czas temu zlokalizowały swoje siedziby w danym regionie (parku technologicznym, itp.), teraz po kilku latach od uruchomienia produkcji zaczynają im się zwracać koszty tych inwestycji. Tak wypracowane zyski, z całą pewnością są skutkiem właściwego zorganizowania i zarządzania całym zakładem, a także sprawdzoną logistyką. W efekcie, cały zakład stosując tylko jeden system zarządzania jest w stanie zsynchronizować współpracę jego działów ze sobą, wyeliminować zbędne opóźnienia, a tym bardziej pozwolić na wydajniejszą i efektywniejszą produkcję. W przypadku wcześniej założonego i skutecznie realizowanego planu rozwoju firmy, kierownictwo bardzo często rozważa nowe kierunki rozwoju, które mają na celu zwiększenie możliwości produkcyjnych, a zarazem uzyskanie wyższych zysków. W tym przypadku, analizowane warianty rozwoju firmy mogą być różne co zależy od spodziewanych rezultatów - zaczynając od szkoleń kadry pracowniczej, poprzez restrukturyzację firmy, a kończąc na planach inwestycyjnych.

W zależności od spodziewanych rezultatów, szkolenia kadry pracowniczej, zarówno na stanowiskach kierowniczych jak i produkcji, odbywają się sukcesywnie w pewnych określonych odstępach czasu. Celem tych szkoleń jest zwiększenie zasobów wiedzy oraz doświadczenia w konkretnej dziedzinie, która zależy od stanowiska zajmowanego w przedsiębiorstwie. Tego typu kierunki rozwoju pracowników są jak najbardziej zalecane i często praktykowane w firmach, ponieważ dobrze wykwalifikowana kadra

pracownicza poprawnie wykonuje swoją pracę, a to sprawia, że produkowane przez nich produkty pozbawione są wielu wad (mniej zwrotów i reklamacji poprodukcyjnych). Kolejnym kierunkiem w jakim może się rozwijać dowolna firma jest z pewnością planowanie różnych inwestycji. Zależnie od okoliczności, planowanie inwestycji może dotyczyć wielu różnych aspektów, jak zakupu nowych terenów pod rozbudowę już istniejącego lub budowę kolejnego zakładu, wykupu konkurencyjnych firm na rynku, czy zakupu i wdrażania nowych certyfikatów i technologii celem pozyskiwania nowych zleceń produkcyjnych. Jednak, ten kierunek rozwoju firmy jest dość kosztowny, dlatego jest on stosowany jedynie w przypadku, gdy firma prężnie prosperuje na rynku, a tym samym odnotowuje kolejne zyski ze sprzedaży swoich produktów. W związku z tym, elementem pośrednim pomiędzy wysokością kosztów na szkolenia kadry pracowniczej, a kosztami realizacji założonych w planach inwestycji, są koszty przeznaczone na restrukturyzację firmy. W tym przypadku, restrukturyzacja (transformacja) firmy jest uważana za gwałtowne zmiany zachodzące w aktywach i pasywach lub w organizacji przedsiębiorstwa w celu uzyskania zamierzonego efektu - oszczędności oraz wzrostu produkcji. Uogólniając, celem restrukturyzacji jest stworzenie przesłanek do wzrostu wartości firmy, czyli takie zarządzanie jej zasobami, aby niewielkim nakładem kosztów stworzyć efektywniejszy i wydajniejszy proces produkcyjny (technologiczny) [1, 2]. Ten etap rozwoju firmy jest przed wstępnym etapem, w trakcie którego stwierdzenie już braku sensu dalszej reorganizacji (transformacji, czy restrukturyzacji) przedsiębiorstwa, sprawia, że pozostaje jedynie możliwość przejścia do realizacji kosztownych założeń z planu inwestycyjnego [3].

W związku z powyższym, w niniejszym artykule uwaga autora została głównie skoncentrowana na restrukturyzacji zasobów firmy GEDIA działającej w branży Automotive. Szczegółowej analizie poddano pewien niewielki obszar (strefę) tego przedsiębiorstwa, na podstawie której rozważano różne warianty jego restrukturyzacji.

## **2. CHARAKTERYSTYKA FIRMY GEDIA POLAND**

Firma GEDIA jest przedsiębiorstwem działającym w branży motoryzacyjnej. Spółka ta została utworzona w Polsce przez jeden z największych koncernów niemieckich, producenta elementów konstrukcji samochodowych. Według założeń, a następnie po zainwestowaniu określonych nakładów finansowych, tak utworzona polska filia spółki miała być i jest jednym z najnowocześniejszych zakładów w Europie we wszystkich obszarach własnej działalności. Świadczy o tym choćby liczba wyspecjalizowanych robotów, w które zostało wyposażone przedsiębiorstwo już na samym początku wdrożenia i uruchamiania produkcji. Początkowo, dziewięć z tych robotów na samodzielnych stanowiskach spawało skomplikowane elementy samochodów. Na dwóch wysoko wyspecjalizowanych technologicznie liniach produkcyjnych pięćdziesięciu robotników składało i spawało detale konstrukcji aut. Dodatkowo, zakład został wyposażony w niezbędne specjalistyczne laboratoria oraz urządzenia pomiarowe, które do dziś pozwalają na uzyskiwanie bardzo wysokiej jakości i precyzji produkowanych podzespołów (elementów) samochodowych. Można stwierdzić, że tak wyposażony zakład (działy odpowiedzialne za kontrolę jakości na jego terenie) wręcz bez jakichkolwiek opóźnień zdolny jest do przeprowadzania bardzo szczegółowej

kontroli jakości produkowanych podzespołów, co pozwala wdrażać i wykorzystywać w nim przyjęte systemy zarządzania produkcją. Automatyzacja całej linii produkcyjnej sprawiła, że to automaty kontrolują geometrię spawanych lub zgrzewanych ze sobą podzespołów samochodowych, a nawet weryfikują jakość wykonania i wytrzymałości wszystkich punktów spawania. W tak zautomatyzowanym przedsiębiorstwie, przy wyspecjalizowanych liniach produkcyjnych wystarczy (co można również zauważyć) zaledwie niewielka liczba odpowiednio wykwalifikowanej oraz przeszkolonej kadry pracowniczej.

Na chwilę obecną firma GEDIA ciągle poszukuje nowych rozwiązań w zakresie wzmocnienia swojej konkurencyjności, innowacyjności stosowanych rozwiązań, w tym zwiększenia przestrzeni magazynowej, usprawnień funkcjonowania magazynu, które bezpośrednio wpływają na funkcjonowanie stanowisk produkcyjnych. Należy podkreślić, iż zakład GEDIA jest firmą wysoko zaawansowaną technologicznie. Pracownicy pracują na maszynach w pełni zautomatyzowanych, w najnowszych technologiach (spawanie laserowe, spawanie w osłonie gazów, klejenie, nitowanie, zgrzewanie punktowe, zgrzewanie oporowe na robotach). W związku z tym można stwierdzić, że GEDIA rozwija się dość dynamicznie. Inwestycje w nowe technologie sprawiły, że firma ta z czasem znacznie powiększyła swoje zasoby pod względem sprzętu wykorzystywanego na produkcji. Stopniowe i sukcesywne wdrażanie na terenie zakładu coraz to nowszych i bardziej zaawansowanych technologii, pozwoliło na zwiększenie przyjmowania kolejnych zleceń produkcyjnych – również w zakresie wytwarzania podzespołów samochodowych w aluminium. Dlatego, firma GEDIA współpracuje między innymi z największymi koncernami zajmującymi się produkcją samochodów jak AUDI, BMW, VW, Chevrolet, Daimler, Fiat, Ford, GM czy OPEL i inne.

### **3. PROBLEM DO ROZWIĄZANIA**

Polska filia firmy GEDIA po kilku latach funkcjonowania zaczęła przynosić oczekiwane zyski, w związku z tym, kierownictwo rozważa różnego rodzaju kolejne plany rozwoju przedsiębiorstwa. Systematycznie, kadra pracownicza jest przeszkalana w zakresie obsługi nowych stanowisk produkcyjnych jak i nowych technologii. Bezustannie prowadzona jest analiza rynku z danej branży oraz brana jest możliwość rozbudowy firmy np. pod względem zakupu nowych gruntów pod kolejne inwestycje. Pomimo tego, obecnie firma postawiła sobie za cel zrestrukturyzowania zasobów firmy tak, aby zwiększyć jej możliwości produkcyjne. Pod tym względem, w GEDIA kluczowy okazał się dział produkcji oraz dział magazynu, a także współpraca pomiędzy nimi. Pozostałe działy są równie ważne, jednak one wspierają jedynie prawidłowe funkcjonowanie zakładu, a zarazem dwóch wcześniej wspomnianych i z tego powodu to nimi w tej pracy się nie zajmowano.

Jeżeli chodzi o zrestrukturyzowanie działu produkcyjnego to nie pozostaje nic innego jak zwiększenie w nim (w miarę możliwości) liczby stanowisk oraz linii produkcyjnych na tym samym obszarze zakładu – nie obniżając poziomu bezpieczeństwa pracy. W tym przypadku, możliwe jest również rozpatrzenie wariantu, w którym w optymalny sposób strefa magazynowa została by zmniejszona, w celu zwiększenia obszaru strefy

produkcyjnej. Natomiast, restrukturyzacja działu magazynowego w firmie GEDIA pozwala już na zastosowanie dużo większej liczby różnego rodzaju rozwiązań i mechanizmów. Dlatego, w oparciu o automatyzację magazynu w tym przedsiębiorstwie w ramach projektu rozpatrzono kilka różnego rodzaju koncepcji, jak:

- zastosowanie sortowania kontenerów z gotowymi (wyprodukowanymi) produktami, podczas, gdy zakład nie pracuje (np. nocą lub w weekendy) [4],
- zastosowanie specjalnych podajników, które od góry układałyby na sobie kontenery z gotowymi już produktami,
- zastosowanie specjalnych wózków transportowych o małym korytarzu roboczym pracy [5] (rysunek 1), które posiadałyby dużo mniejszy obszar manewrowy od tych obecnie wykorzystywanych w zakładzie GEDIA (załadunek wózka od przodu, a rozładunek bokiem),



*Rysunek 1. Wózek transportowy o małym korytarzu roboczym [5]*

- zastosowanie specjalnych platform, które działałyby na zasadzie kolejki FIFO (ang. First In First Out) [6, 7]. Wyprodukowane elementy z produkcji trafiałyby na ruchome platformy, na których stopniowo przemieszczałyby się w kierunku działu załadunkowego.



*Rysunek 2. Wózek transportowy obecnie wykorzystywany w zakładzie GEDIA [8]*

Na chwilę obecną w zakładzie GEDIA stosuje się określony i wdrożony już system zarządzania zasobami magazynowymi oparty na systemie SAP [9, 10], który sprawdza się pod każdym względem. System ten bazuje na zasadzie wykorzystywania wózków transportowych (rysunek 2), które nieustannie przewożą produkowane elementy ze strefy magazynowej do strefy produkcyjnej i z powrotem do strefy magazynowej. Koszty zakupu wózków transportowych (leasing) oraz koszty ich eksploatacji przy znacznej ich liczbie są dość wysokie jednak nie aż tak wysokie jak gruntowna reorganizacja całego zakładu GEDIA przedstawiana w powyższych propozycjach automatyzacji magazynu. Kolejnym ograniczeniem stosowania obecnie wykorzystywanych wózków transportowych jest ich obszar manewrowy, który wyznacza minimalne odległości pomiędzy segmentami (regałami) magazynowymi. Odległości te można w bardzo prosty sposób wykorzystać do wyznaczenia aktualnej powierzchni magazynowej, których zmniejszenie bezpośrednio prowadzi do powiększenia zasobności magazynu. Tego typu podejście prowadzi do wniosku, że zakup specjalnych wózków transportowych (wyżej zaproponowanych), przy dużo niższych kosztach od pozostałych koncepcji, dość znacznie przysłużyłby się do powiększenia strefy magazynowej.

Ze względu na fakt, że powyżej wypunktowane koncepcje automatyzacji strefy magazynu w zakładzie GEDIA są rozwiązaniami na poziomie strategicznego planowania przyszłości firmy [11, 12], które związane są z dość wysokimi nakładami finansowymi, to na tym etapie współpracy z firmą starano się zaproponować, a następnie wdrożyć dużo tańsze ale podobne w działaniu rozwiązania. W związku z tym, ponowna analiza funkcjonowania strefy magazynowej i produkcyjnej oraz ich współpracy ze sobą sprawiła, że w zakładzie tym zauważono możliwość występowania niepożądanych przestojów w produkcji. Efektem tego był nie do końca automatyczny sposób komunikacji oraz współpracy strefy produkcyjnej ze strefą magazynową, które zależne były od dyspozycji w danym momencie pracownika logistyki. W wyjątkowych sytuacjach zdarzało się, że na stanowisku produkcyjnym (robocie przemysłowym) pracownik wśród detali przygotowanych do produkcji końcowego podzespołu wykrywał wady. W celu eliminacji ewentualnych przestojów w produkcji z tym związanych,

przekazywał on tę informację pracownikowi logistyki, który osobiście doglądał i nadzorował od kilkunastu do kilkudziesięciu gniazd produkcyjnych, a w między czasie zamawiał w systemie brakujące półprodukty z magazynu. Tego typu mechanizm działania sprawdzał się do czasu, w którym pracownik logistyki nie był obciążony żadnymi do wykonania czasochłonnymi obowiązkami. Należy dodać, że pracownik produkcji nie mógł samodzielnie oddalić się od stanowiska pracy i pozostawić robota przemysłowego bez nadzoru w celu zgłoszenia problemu pracownikowi logistyki. Dlatego, na terenie zakładu próbowano samodzielnie rozwiązać problem związany z przywołaniem pracownika logistyki do konkretnego stanowiska produkcyjnego poprzez komunikację za pośrednictwem krótkofalówek czy sygnalizacji świetlnej, itp. Niestety, tak zastosowane rozwiązania ze względu na dość wysokie koszty eksploatacji sprzętu, braki zasięgu, hałas czy infrastrukturę strefy produkcyjnej zakładu nie rozwiązała do końca istniejącego problemu. W związku z tym, w celu odciążenia pracownika logistyki od wspomnianych czynności, a tym samym przyspieszenia i zautomatyzowania współpracy strefy produkcyjnej ze strefą magazynową, konieczne było przekazanie możliwości kontaktowania się z magazynem osobie znajdującej się na stanowisku produkcyjnym. Wówczas, osoba ta (po stwierdzeniu u siebie wadliwych detali) zgłaszałyby ten fakt za pośrednictwem zaproponowanego systemu komunikacyjnego bezpośrednio do pracowników magazynu (wózków transportowych) celem uzupełnienia braków. Następnie, wszelkie korekty w systemie z tego typu zamówieniami zostałyby uzupełnione przez kierownika logistyki w dogodnym terminie.

W rezultacie, podczas działań, który dotyczył automatyzacji magazynu w zakładzie GEDIA zdecydowano się na rozwiązanie problemu komunikacji pracowników strefy produkcyjnej ze strefą magazynową. Celem tak zaproponowanego rozwiązania miało być przyspieszenie komunikacji oraz zwiększenie efektywności współdziałania pomiędzy pracownikami wspomnianych stref, przy jednoczesnym założeniu użycia jak największych zasobów firmy oraz niewielkich nakładów finansowych.

#### **4. ZAŁOŻENIA DO REALIZACJI PROJEKTU**

W celu uzyskania dużo szybszej i efektywniejszej współpracy pracowników działu produkcji z działem magazynowym, a zarazem usprawnienia oraz eliminacji zbędnych opóźnień w komunikacji pomiędzy nimi, w ramach realizacji niniejszego projektu zdecydowano się na wykonanie specjalistycznego systemu komunikacyjnego. Dlatego, w ramach określenia założeń do realizacji wspomnianego systemu komunikacyjnego, który zdecydowano się zaproponować, a następnie wdrożyć w zakładzie GEDIA, konieczne było przeprowadzenie:

- weryfikacji zakresu obowiązków pracownika i wykonywanych przez niego zadań na stanowisku produkcyjnym (robocie przemysłowym),
- weryfikacji zakresu obowiązków pracownika logistyki i wykonywanych przez niego zadań na strefie produkcyjnej,
- analizy uprawnień pracownika produkcji oraz pracownika logistyki celem przekazania (temu pierwszemu) możliwości komunikowania się z pracownikami strefy magazynowej,

- analizy możliwości przeniesienia pracownika logistyki ze strefy produkcyjnej do innych zadań na terenie zakładu,
- weryfikacji możliwości technicznych (sprzętu i oprogramowania) terminali roboczych znajdujących się na stanowiskach produkcyjnych oraz w różnych działach wspomagających produkcję,
- analizy wykorzystania oraz zoptymalizowania ilości wózków transportowych używanych na terenie zakładu GEDIA.

Po przeanalizowaniu różnych aspektów realizowanego projektu oraz po zweryfikowaniu możliwości sprzętowych znajdującego się w zakładzie asortymentu założono, że w pierwszej kolejności do jego realizacji wykorzystany zostanie sprzęt (terminale robocze), który już znajduje się na terenie zakładu. W sytuacji, gdyby okazało się, że takiej możliwości nie ma to konieczne byłoby zakupienie terminali dotykowych na każde ze stanowisk produkcyjnych indywidualnie. O ile, wykorzystanie wszystkich możliwości terminali w początkowej fazie projektu będzie znikome i nieadekwatne do kosztów samych terminali, to w przyszłości na bazie proponowanego systemu komunikacyjnego może zostać im nadana nowa funkcjonalność.

Podczas realizacji zaproponowanego systemu komunikacyjnego wytypowano następujące etapy jego wykonania, zgodnie z którymi należy:

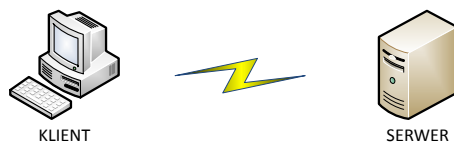
- wykorzystać zasoby sprzętowe jakie posiada zakład GEDIA (dotykowe terminale robocze, komputery klasy PC, infrastrukturę sieciową, routery, itp.),
- dokonać zakupu niezbędnego sprzętu, który jest niedostępny na terenie zakładu GEDIA lub nie spełnia wymagań co do realizacji wspomnianego systemu komunikacyjnego (dodatkowe terminale, sterowniki do realizacji interfejsów komunikacyjnych na robotach, itp.),
- przygotować aplikacje, które na terenie zakładu GEDIA będą się wzajemnie komunikowały ze sobą, a tym samym posłużą do komunikacji strefy produkcyjnej (stanowisk robotów) z działem logistyki (magazynem) oraz sprawdzić różne wersje środowisk programistycznych, a następnie wybrać te najbardziej optymalne do rozwiązania problemu komunikacji (do utworzenia systemu komunikacyjnego),
- wdrożyć na strefie produkcyjnej i strefie magazynowej w zakładzie GEDIA przygotowany system komunikacyjny (niezależne od siebie aplikacje, które na żądanie komunikują się ze sobą),
- przetestować i ewentualnie zmodyfikować w razie potrzeby wdrożone w przedsiębiorstwie rozwiązanie konsultując je z pracownikami znajdującymi się bezpośrednio na stanowiskach produkcyjnych.

## **5. OPIS REALIZOWANEGO PROJEKTU – SYSTEMU KOMUNIKACYJNEGO GEDIA-KOM**

W ramach realizowanego projektu dotyczącego automatyzacji strefy magazynowej w połączeniu ze strefą produkcyjną zaproponowano system komunikacyjny o nazwie GEDIA-KOM, którego zadaniem jest szybsze i efektywniejsze komunikowanie się ze sobą pracowników obu działów. W przypadku problemów z podzespołami na produkcji,

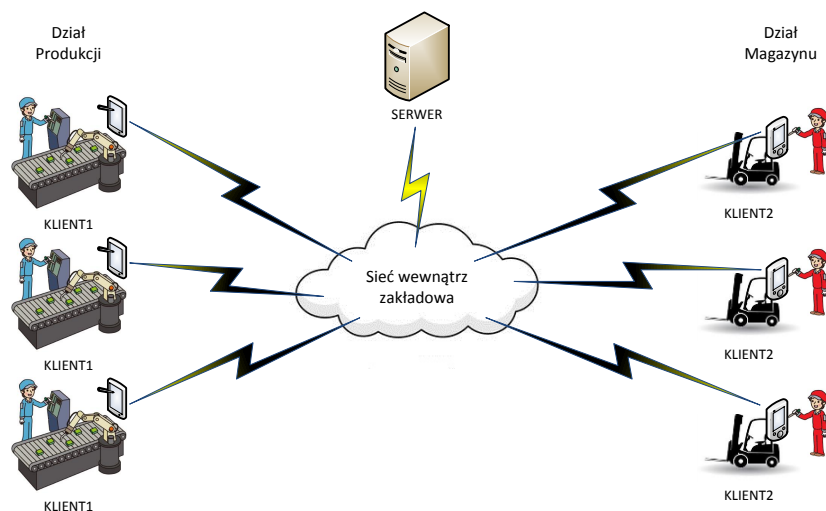


w celu efektywniejszej komunikacji pracownikom zaproponowano konkretne rozwiązanie systemu komunikacyjnego bazującego na architekturze systemu komputerowego typu Klient-Serwer (ang. Client-Server model) [13, 14] – rysunek 3.



Rysunek 3. Architektura typu Klient-Serwer

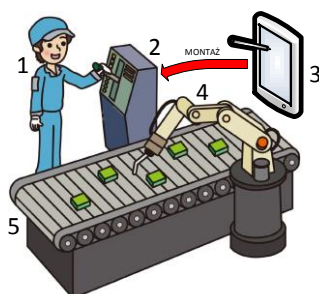
Rozwiązanie to polega na założeniu, że Serwer zapewnia wszelkie usługi dla Klientów, którzy zgłaszają do niego żądania obsługi (ang. Service Request). W związku z tym, tak przyjęty model przetwarzania informacji w połączeniach bezpośrednich jest rozwiązaniem, w którym proces żądający usługi oraz proces dostarczający te usługi są wyodrębnione. Cechą charakterystyczną tego typu koncepcji jest jednoczesne działanie dwóch lub kilku programów bądź procesów, gdzie jeden z nich Serwer realizuje usługi na rzecz drugiego Klienta. Tego typu koncepcja rozwiązania pozwala na równoczesne uruchamianie wielu środowisk z możliwością spójnego operowania danymi niezależnie od środowiska, w którym dane te będą prezentowane. Oprogramowanie serwera najczęściej uruchamiane jest na komputerze dedykowanym do zadań specjalnych. Natomiast, oprogramowanie klienta zwykle uruchamiane jest na komputerze osobistym lub terminalu, które dostarczają użytkownikowi końcowemu interfejs graficzny do wyświetlania informacji po ewentualnym ich dodatkowym przetworzeniu. Ponadto, głównym założeniem tego typu systemu komunikacyjnego jest to, że z usług serwera zazwyczaj może korzystać wielu klientów równocześnie. W szczególnym przypadku, pojedynczy klient może korzystać z usług wielu serwerów oraz dopuszcza się również sytuację, w której proces serwera i klienta znajduje się w tej samej lokalizacji na tym samym urządzeniu.



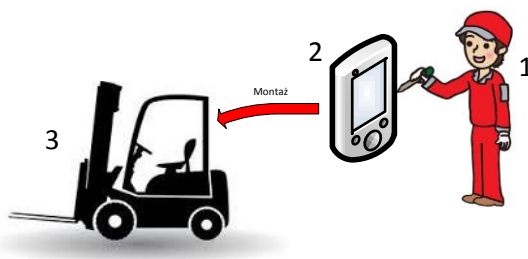
Rysunek 4. Struktura podstawowego systemu komunikacyjnego GEDIA-KOM

Struktura podstawowego systemu komunikacyjnego, który przygotowano do wdrożenia w firmie GEDIA została zaprezentowana na rysunku 4. Tego typu strukturę można rozgraniczyć, ze względu na funkcjonalność jej elementów składowych, na trzy niezależne, a zarazem najważniejsze obszary: obszar klientów typu KLIENT1, obszar klientów typu KLIENT2 oraz obszar typu SERWER. Obszar klientów typu KLIENT1 jest to obszar, który swoim zasięgiem obejmuje wszystkie punkty produkcyjne w strefie produkcji. Każdego klienta typu KLIENT1 (rysunek 5) należy rozpatrywać jako pojedyncze urządzenie, maszynę lub stanowisko (gniazdo) produkcyjne wraz z zaproponowanym do komunikacji interfejsem podłączonym poprzez przewód z Internetem oraz osobą je obsługującą, który posiada dokładnie te same możliwości pod względem komunikacji. Tak wyodrębniony w strukturze systemu komunikacyjnego obszar dokładnie pokrywa się z obszarem działu produkcji w zakładzie GEDIA. Dlatego, wszyscy klienci wspomnianego obszaru posiadają własne unikalne identyfikatory produkcyjne (zgodne z numeracją maszyn na produkcji), które mają na celu odróżnienie ich od siebie, również w momencie potrzeby ich komunikacji z serwerem. Kolejnym obszarem jest obszar klientów typu KLIENT2, który swoim zasięgiem obejmuje wszystkich pracowników pracujących na wózkach transportowych w dziale magazynu. Ten rodzaj klientów, w odróżnieniu od statycznych klientów typu KLIENT1, stanowi klientów mobilnych, którzy będąc pracownikami strefy magazynu nieustannie przemieszczają się pomiędzy nią, a strefą produkcji. Pojedynczy klient typu KLIENT2 (rysunek 6) w tak przedstawionym systemie komunikacyjnym należy interpretować jako połączenie ze sobą pojedynczego wózka transportowego, terminala wraz z zaproponowaną aplikacją, która bezprzewodowo z użyciem WiFi łączy się z serwerem oraz obsługującą je osobą. W tym przypadku, każdy klient również posiada

własny unikalny identyfikator, który odróżnia go od pozostałych podczas wymuszonej komunikacji z serwerem. Natomiast, ostatnim obszarem jest obszar typu SERWER, w skład którego wchodzi niezależna jednostka centralna przeznaczona do realizacji konkretnych zadań wraz z niezbędnym oprogramowaniem jak system operacyjny, na którym umieszczono zaproponowaną i przygotowaną aplikację do rejestracji, wizualizacji oraz obsługi statusów robotów przemysłowych znajdujących się na produkcji.



Rysunek 5. Klient typu KLIENT1 (1 – pracownik produkcji, 2 – maszyna sterująca stanowiskiem, 3 – tablet, terminal lub sterownik reprezentujący interfejs systemu komunikacyjnego GEDIA-KOM wraz z niezbędnym oprogramowaniem montowany na 2, 4 – robot wykonujący określone zadania na linii produkcyjnej, 5 – linia produkcyjna z detalami)



Rysunek 6. Klient typu KLIENT2 (1 – pracownik magazynu, 2 – tablet, terminal reprezentujący interfejs systemu komunikacyjnego GEDIA-KOM wraz z niezbędnym oprogramowaniem montowany na 3, 3 – wózek transportowy)

Wszystkie trzy powyższe obszary (grupy klientów typu KLIENT1, KLIENT2 oraz SERWER) mogą ze sobą w dowolny sposób komunikować się wykorzystując w tym celu różnego rodzaju rozwiązania. W zależności od różnych uwarunkowań jakie mogą wystąpić na terenie zakładu, transmisję (wymianę informacji) pomiędzy klientami typu KLIENT1, a klientami typu KLIENT2 za pośrednictwem serwera, można realizować na bazie połączeń bezprzewodowych (np. RF, WiFi, GSM, itp.) lub przewodowych (np. Ethernet, CAN, itp.). W przypadku zakładu GEDIA w ramach redukcji kosztów

założono, że realizacja projektu (w pierwszej kolejności) ma obejmować użycie już posiadanych zasobów sprzętowych. W związku z tym, komunikację punktów KLIENT1, KLIENT2 oraz SERWER w zaproponowanym systemie komunikacyjnym GEDIA-COM zrealizowano na podstawie lokalnej zakładowej sieci internetowej (Ethernet).

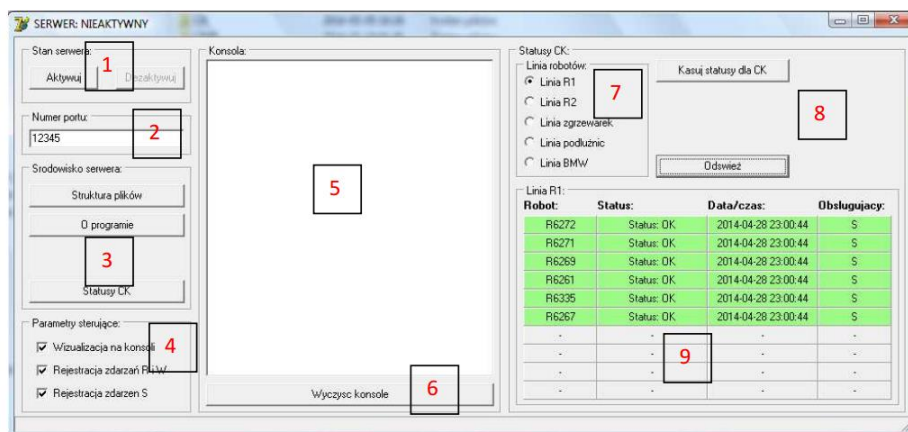


Rysunek 7. Interfejs urządzenia typu KLIENT1 montowanego na gniazdach produkcyjnych (1 – restart urządzenia, 2 – wysłanie do serwera statusu: Wszystko OK, 3 – wysłanie do serwera statusu: Brak detalu, 4 – wysłanie do serwera statusu: Brak kontenera, 5 – wysłanie do serwera statusu: Inne wezwania, 6 i 7 – diody sygnalizacyjne informujące pracownika o stanie pracy urządzenia)

Zasada funkcjonowania tak zaproponowanego systemu komunikacyjnego do wewnętrznej komunikacji na terenie zakładu GEDIA jest bardzo prosta. Przez cały czas pracy systemu, serwer nieustannie nasłuchuje zgłoszeń ze strony klientów typu KLIENT1 (strefa produkcji) oraz KLIENT2 (strefa magazynu). W przypadku wystąpienia jakiegokolwiek problemu, ale problemu zdefiniowanego na poziomie założeń projektowych i odwzorowanego w proponowanym rozwiązaniu, pracownik produkcji obsługujący konkretnego robota przemysłowego może wybrać jeden z przewidzianych komunikatów celem przesłania go pracownikom wózków transportowych strefy magazynowej. Za pośrednictwem, specjalnie w tym celu przygotowanego interfejsu (rysunek 7), pracownik produkcji wybiera, a następnie naciska przycisk odpowiadający zaistniałemu problemowi. Po konsultacjach z pracownikami zarówno strefy magazynowej, jak i produkcyjnej, w zakładzie GEDIA wytypowano cztery najczęściej występujące stany na produkcji:

- Stan: *Wszystko OK* (kolor statusu: *Zielony*) – status stwierdzający, że na określonym gnieździe produkcyjnym (robocie) nie ma żadnych problemów,
- Stan: *Brak detalu* (kolor statusu: *Czerwony*) – status informujący pracowników strefy magazynu, że na robocie przemysłowym o unikatowym numerze brakuje detalu, prośba o przyjazd wózka transportowego i dowieszenie określonego detalu z magazynu,
- Stan: *Brak kontenera* (kolor statusu: *Różowy*) – status informujący pracowników strefy magazynu, że na robocie przemysłowym o unikatowym numerze brakuje

- pustych kontenerów na produkowane detale, prośba o przyjazd wózka transportowego i dowieszenie pustych kontenerów z magazynu,
- Stan: *Inne wezwanie* (kolor statusu: *Żółty*) – status informujący pracowników strefy magazynu, że na robocie przemysłowym o unikatowym numerze wystąpiła inna sytuacja niż jedna z powyższych, prośba o przyjazd wózka transportowego.

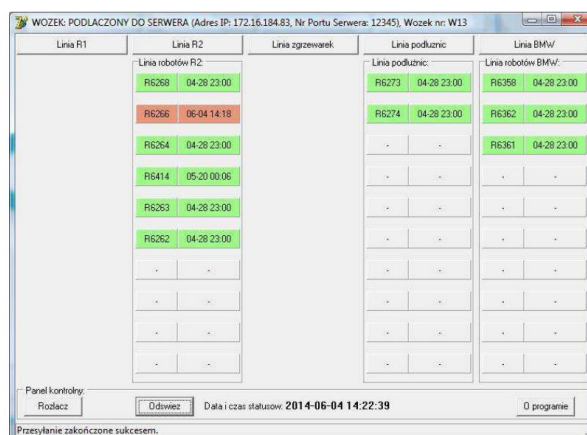


Rysunek 8. Zrzut ekranu z aplikacji typu SERWER zainstalowanej na niezależnym komputerze klasy PC (1 – stan pracy, 2 – numer aktywnego portu, 3 – elementy związane z obsługą środowiska, 4 – parametry sterujące, 5 – okno konsoli, 6 – przycisk czyszczący zawartość okna konsoli, 7 – linie robotów nadzorowane w systemie, 8 – przyciski kasowania i odświeżania statusów, 9 – widok statusów poszczególnych linii produkcyjnych)

Wybór określonego przycisku z komunikatem oraz jego naciśnięcie powoduje, że do serwera natychmiast trafia zgłoszenie o aktualnym stanie robota przemysłowego i prośba o przywołanie wózka transportowego celem jego obsługi. Tak przesłane zgłoszenie jest rejestrowane na serwerze, gdzie automatycznie zmienia się kolor statusu wraz ze wszystkimi niezbędnymi informacjami (data, godzina, opis, zgłaszający) – rysunek 8.



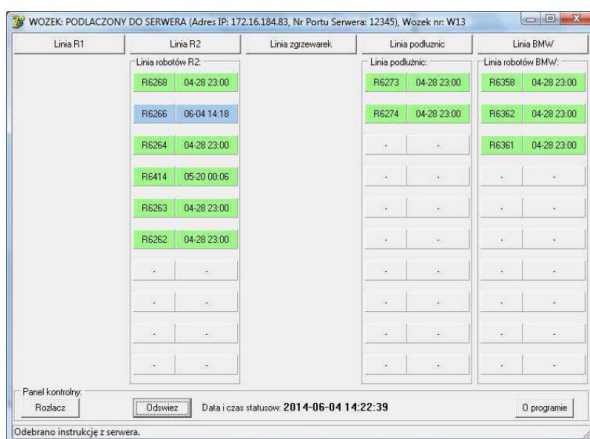
Rysunek 9. Zrzut ekranu z aplikacji typu KLIENT2 umieszczanej w terminalu na wózku transportowym (1 – przycisk połączenia z SERWER-em, 2 – przyciski wyboru odpowiednich linii produkcyjnych, 3 – belka informacyjna informująca o stanie pracy aplikacji, 4 – przycisk pobrania statusów wszystkich gniazd produkcyjnych z SERWERA)



Rysunek 10. Zrzut ekranu z aplikacji typu KLIENT2 z widocznymi statusami wybranych linii produkcyjnych pobranych na terminal przez pracownika wózka o numerze W13

Po rejestracji zgłoszenia na serwerze natychmiast jest ono rozsyłane do wszystkich zalogowanych do niego wózków transportowych (do aplikacji umieszczonej w terminalu, który zamontowano na wózku). Każde przesyłane w ten sposób zgłoszenie zawiera unikatowy numer robota, rodzaj zgłoszenia, datę i godzinę, oraz informację kto

wystosował zgłoszenie (R\_nr – robot o określonym numerze, S – serwer, W\_nr – wózek o określonym numerze). Przekazanie żądania obsługi robotów pracownikom wózków transportowych objawia się tym, że na ekranie terminali montowanych na wózkach w przygotowanym oprogramowaniu pojawiają się wizualne efekty, które mają na celu skupienie uwagi pracownika na tej aplikacji i odświeżeniu wszystkich statusów poprzez pobranie ich z serwera. Pracownik magazynu po zakończeniu swojego ostatniego zadania, widząc na terminalu aplikację (rysunek 9 i 10), która w sposób wizualny przywołuje jego uwagę, odświeża (pobiera) statusy z serwera i od razu po naciśnięciu statusu na dotykowym terminalu może zarezerwować jego obsługę. Rezerwacja obsługi danego gniazda produkcyjnego na produkcji przez pracownika magazynu realizowana jest poprzez kliknięcie w dany status, a objawem tej czynności jest zmiana koloru statusu żądania obsługi na kolor niebieski (rysunek 11). Jednocześnie do serwera wysyłana jest informacja zwrotna o podjęciu obsługi tego zdarzenia przez pracownika magazynu o konkretnym numerze wózka transportowego, na serwerze status przywołania zostaje wyłączony w celu uniknięcia dublowania obsługi zgłoszeń. Obsługa zarezerwowanego zdarzenia kończy się w momencie, gdy pracownik strefy magazynu obsłuży pracownika strefy produkcji (pracującego na określonym robocie) zgodnie z jego oczekiwaniami. Wówczas, odświeżenie statusów pozwala sprawdzić statusy pozostałych gniazd produkcyjnych i przejść do ich ewentualnej obsługi – rysunek 10.



*Rysunek 11. Zrzut ekranu z aplikacji typu KLIENT2 z widocznym do obsługi zarezerwowanym przez wózek o numerze W13 statusem zdarzenia na wybranej linii produkcyjnej*

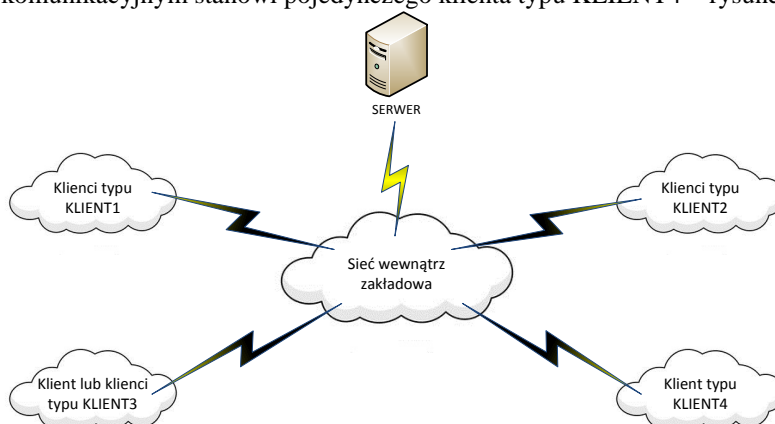
Tak zaproponowany i zrealizowany system do wewnętrznej komunikacji na terenie zakładu GEDIA pomiędzy pracownikami wspomnianych działów (produkcji i magazynu), musi posiadać i posiada możliwość kontroli pracy pracowników. Ich rzetelność oraz zaangażowanie w prawidłowe i właściwe wykorzystywanie systemu komunikacyjnego ma na celu podniesienie jakości, wydajności i efektywności realizowanego na terenie zakładu procesu produkcyjnego. Dlatego, tak zaproponowane

rozwiązanie posiada możliwość rejestracji i późniejszej archiwizacji wszystkich zdarzeń jakie miały miejsce w tym systemie komunikacyjnym. W efekcie w razie konieczności, kompetentna osoba z dostępem do serwera może przeglądać historię zarejestrowanych przez serwer zdarzeń, a następnie je analizować np. ze względu na to czy któryś z pracowników nie przyjął obsługi zgłoszenia i go nie obsłużył bądź zbyt długo go obsługiwał. Ponadto, w ramach kontroli sumienności w wykonywaniu swoich obowiązków na stanowisku pracy pracownicy produkcji oraz magazynu mogą być bezpośrednio kontrolowani przez kadrę kierowniczą. W tym celu, we wspomnianym systemie komunikacyjnym rozpatrywano trzecią grupę klientów typu KLIENT3 – Rysunek 12. Ten rodzaj klienta jest niczym innym jak klientem typu KLIENT2, który posiada ograniczenia w dostępie do serwera. KLIENT3 posiada wyłącznie możliwość podglądu wszystkich statusów (data, godzina, zgłaszający, obsługujący) jakie zgłaszane były na produkcji na poszczególnych gniazdach produkcyjnych. Ze względu na funkcję nadzoru pracowników, ten rodzaj aplikacji (KLIENT3) może być instalowany na dowolnym dotykowym terminalu roboczym, w komputerze biurowym lub w przenośnych urządzeniach mobilnych jak telefony czy tablety. Ideą tego typu klienta jest możliwość bezpośredniego nadzoru nad pracownikami, a nie możliwość szczegółowej analizy logów systemu lub serwera. Z reguły, kadra kierownicza podczas cyklicznego obchodu zakładu nadzoruje i dogląda wszystkich kluczowych dla procesu produkcyjnego stanowisk. Widząc w tym czasie stojących pracowników (działu produkcji lub działu magazynu), ich osoba przełożona za pośrednictwem urządzeń mobilnych może zdalnie (poprzez dostępną na terenie zakładu sieć Wifi) podłączyć się do serwera, sprawdzić czy i kiedy pracownik produkcji wystosował zgłoszenie obsługi oraz czy zgłoszenie to nie zostało zlekceważone przez żadnego pracownika magazynu, a następnie właściwie zareagować. Aplikacja typu KLIENT3 może ale nie służy do ciągłej kontroli pracowników, dlatego głównie przewidziana została ona na urządzenia mobilne, które są na wyposażeniu całej kadry kierowniczej i korzystają z możliwości łączenia się z Internetem za pośrednictwem zakładowej sieci Wifi.

Na terenie zakładu GEDIA (na poszczególnych zmianach) nadzór nad strefą produkcyjną pełni specjalnie do tego celu wytypowana osoba jaką jest kierownik zmiany. Kierownik zmiany jest osobą, która przed opracowaniem i realizacją systemu komunikacyjnego zarządzała współpracą pomiędzy działem produkcji, a magazynowym oraz obsługiwała system zamówień (aktualizacje, modyfikacje, itp.). Ze względu na duży obszar strefy produkcyjnej i dużą ilość gniazd produkcyjnych czasami zdarzało się, że tego typu osoba była nieosiągalna dla pracowników produkcji w wyjątkowych sytuacjach. Dlatego rozpoczęto działania mające na celu zainicjować opracowanie i zrealizowanie wspomnianego systemu komunikacyjnego. W związku z tym, wyżej zaproponowane rozwiązanie systemu pozwala na wyeliminowanie kierownika zmiany podczas pełnienia przez niego określonych czynności z bezpośredniego kontaktu pracowników strefy produkcyjnej i strefy magazynowej. Pracownicy obu tych stref po rozwiązaniu zaistniałego problemu (brak detalu, brak kontenera, itp.) mogą dalej wykonywać swoje zadania na stanowiskach pracy, a kierownik zmiany w dogodnym dla siebie czasie wprowadzi do systemu wszelkie korekty z tym związane. System ten doskonale sprawdza się w sytuacji, gdy kierownik zmiany jest zajęty obowiązkami



służbowymi na terenie strefy produkcyjnej i w danym momencie nie może podejść do stanowiska, gdzie brak kontenera lub brak określonego detalu może spowodować zatrzymanie produkcji. W projekcie rozpatrywano również inny wariant, w którym kierownik zmiany bezwzględnie musi podejść do określonego stanowiska produkcyjnego, gdyż wystąpił inny problem niż te wcześniej zdefiniowane. Wówczas stwierdzono, że najlepszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie rozwiązań mobilnych, które są w posiadaniu każdego z nas. W tym przypadku, zdecydowano się na użycie powszechnie wykorzystywanego telefonu komórkowego, który pracuje w zasięgu dowolnego operatora sieci telekomunikacyjnej. Tak utworzony punkt (w przeciwieństwie do punktów typu KLIENT1, KLIENT2 i KLIENT3, które mogą tworzyć określone grupy klientów) podobnie jak punkt SERWER w zaproponowanym systemie komunikacyjnym stanowi pojedynczego klienta typu KLIENT4 – rysunek 12.



Rysunek 12. Struktura rozbudowanego systemu komunikacyjnego GEDIA-KOM

Ten wariant rozbudowy systemu komunikacyjnego umożliwia pracownikom produkcji poprzez ich terminale lub ewentualnie pracownikom magazynu poprzez aplikacje w terminalach na wysłanie krótkiej wiadomości tekstowej (typu SMS) o z góry zdefiniowanej treści wraz ze wszystkimi niezbędnymi informacjami służącymi do identyfikacji czasu i miejsca punktu wezwania. Wiadomo, że na produkcji w głównej mierze panuje hałas, który powodowany jest przez pracujące maszyny. Dlatego, wysłanie krótkiej wiadomości tekstowej typu SMS przez pracowników strefy produkcyjnej lub magazynowej do kierownika produkcji mogłoby nie zwrócić jego uwagi na tę formę zgłoszenia problemu. Aby, uniknąć możliwości wystąpienia tego typu sytuacji, zaraz po wysłaniu wiadomości tekstowej, sterownik wraz z odpowiednim modułem komunikacyjnym typu GSM (KLIENT4) nawiązuje połączenie telefoniczne z telefonem kierownika zmiany i w ten sposób zwraca jego uwagę na to urządzenie, w którym znajduje się już prośba o kontakt. Tego typu rozwiązanie wydaje się najbardziej optymalnym rozwiązaniem, gdyż wykorzystuje ogólnie dostępne zasoby sprzętowe jak telefony komórkowe, sieć telefonii komórkowej, itp.. Oczywiście, natychmiastowe przywołanie kierownika zmiany można byłoby zrealizować na wiele innych sposobów,

ale były by one znacznie kosztowniejszymi rozwiązaniami. Komunikaty do kierownika zmiany mogłyby być bez problemu przesyłane za pośrednictwem dostępnej na terenie zakładu sieci bezprzewodowej Wifi, jednak wtedy jego urządzenie przenośne musiałyby przez cały czas zmiany być zalogowane do serwera, gdzie musiałyby on sprawdzać statusy wszystkich stanowisk produkcyjnych. Wtedy, kierownik, który rozpoczynałby swoją zmianę musiałyby każdorazowo włączyć funkcję Wifi w swoim telefonie, logować się do serwera za pośrednictwem odpowiedniej aplikacji, a nawet kontrolować stan naładowania baterii - większy pobór prądu przy połączeniach Wifi niż przy GSM. Jak można zauważyć wariant z użyciem technologii GSM jest dużo lepszym rozwiązaniem, gdyż przekazywanie informacji odbywa się w bardzo prosty sposób, a wszelkie koszty związane z tego typu okazijnym (w razie konieczności) rodzajem powiadomień pokrywa zakład. W rezultacie, znikomym nakładem środków finansowych, dostępnego sprzętu oraz oprogramowania na terenie zakładu udało się zaproponować i zrealizować pewną koncepcję nowego systemu komunikacyjnego, którego głównym zamierzeniem jest eliminacja ewentualnych przestojuw w produkcji w zakładzie GEDIA, a tym samym utrzymanie wysokiego poziomu wydajności i efektywności produkcji.

## 6. PODSUMOWANIE

Do najważniejszych efektów otrzymanych podczas realizacji wspomnianego projektu należy zaliczyć między innymi zaproponowanie i fizyczne zrealizowanie pewnej koncepcji systemu komunikacyjnego nazwanego roboczo GADIA-KOM, który wykonano w ramach projektu dotyczącego nawiązania współpracy nauki z przemysłem, a dokładniej automatyzacji wybranych fragmentów zakładu produkcyjnego GEDIA. System ten został przygotowany, zaprojektowany, a następnie wykonany z myślą o potrzebach wspomnianego zakładu produkcyjnego oraz o efektywniejszym (wydajniejszym) wykorzystaniu jego zasobów sprzętowych i osobowych w procesie zarządzania. Tak przygotowane rozwiązanie ma na celu wspierać wymianę informacji (współpracę) pomiędzy pracownikami strefy magazynowej, a pracownikami strefy produkcyjnej na terenie tego zakładu w zakresie eliminacji wszelkiego rodzaju opóźnień i przestojuw do jakich dochodzi podczas produkcji. Ponadto, główną ideą tego projektu było zaproponowanie nowej, i zarazem prostej koncepcji systemu komunikacyjnego, który w szybki i prosty sposób umożliwiłby pracownikom strefy produkcji na bezpośrednie komunikowanie się z pracownikami strefy magazynu.

Niestety, podczas realizacji dowolnego projektu należy się liczyć z tym, że będzie on zawierał różnego rodzaju wady i zalety z punktu widzenia docelowego miejsca jego zastosowania. Podobnie jest w przypadku zaproponowanego systemu komunikacyjnego, w którym wyróżnić można zarówno wady jak i jego zalety. Do najważniejszych zalet z wdrożenia omawianego systemu w zakładzie GEDIA należy zaliczyć:

- eliminację zbędnych i niepożądanych opóźnień mogących wystąpić podczas produkcji, a tym samym wpłynie na przyspieszenie współpracy pomiędzy pracownikami strefy produkcyjnej i magazynowej,

- odciążenie personelu strefy produkcyjnej od obowiązków związanych z realizacją dodatkowych zamówień np. brakujących detali, kontenerów czy innych tego typu problemów jakie występują na stanowiskach produkcyjnych,
- efektywniejsze (wydajniejsze) wykorzystanie personelu strefy magazynowej oraz produkcyjnej w zakresie wykonywanych przez nich obowiązków,
- precyzyjniejsze zarządzanie, a tym bardziej logistyczne rozplanowanie wykorzystania personelu oraz sprzętu w zakładzie GEDIA,
- zreorganizowanie struktury firmy pod względem efektywniejszego i wydajniejszego wykorzystania personelu zakładu GEDIA w celu zwiększenia możliwości produkcyjnych i magazynowych.

Natomiast do wad tego typu rozwiązania można zaliczyć fakt, że SERWER jako niezależne stanowisko w pewnym momencie jego użytkowania może stać się „wąskim gardłem” w całym systemie komunikacyjnym. Wpinanie do sieci kolejnych urządzeń (sterowniki lub terminale robocze z dedykowanymi dla nich programami) typu KLIENT1, KLIENT2, KLIENT3 i KLIENT4 może spowodować, że SERWER zostanie dość znacznie obciążony w swoim działaniu, a to przełoży się na zbyt długie opóźnienia w funkcjonowaniu systemu. Czysto teoretycznie należy zakładać, że tego typu wariant może w praktyce zaistnieć, ale po przeprowadzeniu wstępnych badań symulujących obciążenia SERWER-a nie stwierdzono takich opóźnień (nie udało się ich zaobserwować). Ponadto, liczba maszyn, urządzeń i gniazd produkcyjnych wyposażonych w odpowiednie interfejsy jak i terminali zamontowanych na wózkach transportowych na terenie zakładu jest ograniczona, a to sprawia, że można dobrać taki sprzęt, w którym „wąskie gardła” nie wystąpią. No i oczywiście coraz to nowszy i szybszy sprzęt wykorzystywany do realizacji różnych rozwiązań może pracować z jeszcze wyższymi częstotliwościami rzędu MHz lub GHz, który wspierany jest rosnącymi możliwościami samego Internetu pod względem szybkości transferu danych za jego pośrednictwem sprawiają, że tego typu obciążenia serwera będą mało prawdopodobne.

Nie ulega wątpliwości, że zaproponowany w niniejszym projekcie system komunikacyjny jest rozwiązaniem o wiele tańszym niż pozostałe tego typu rozwiązania polecane przez firmy komercyjne. Oczywiście, proces realizowanego projektu w niniejszej pracy został przedstawiony bardziej od strony technicznej, niż od komercyjnej. Należy stwierdzić, że projekt ten w swoich kosztach zakupu nie uwzględnia np. kosztów zakupu licencji na oprogramowanie, kosztów związanych z prowadzeniem działalności (tak jak inne firmy) oraz wielu innych czynników, które firmy komercyjne muszą uwzględniać (pensje dla pracowników, opłaty związane z utrzymaniem na rynku, podatki, koszty poniesione na reklamę firmy, koszty licencji, szkolenia dla pracowników, koszty rozwoju firmy, itp.). Pomimo tego, koszty realizacji zaproponowanego systemu są dużo niższe od rozwiązań komercyjnych. Dość znaczną różnicę pomiędzy kosztami tego typu rozwiązań można uzasadnić tym, że w zaproponowanym rozwiązaniu w głównej mierze wykorzystuje się zasoby sprzętowe oraz całą dostępną infrastrukturę komunikacyjną, które już w momencie realizacji projektu są dostępne na terenie zakładu GEDIA. W ramach realizacji projektu tego systemu kluczową rolę odegrało tutaj specjalnie przygotowane oprogramowanie

(KLIENT1, KLIENT2, KLIENT3, KLIENT4 i SERWER), którego elementy zsynchronizowały i zespoliły w jedną całość wszystkie elementy składowe systemu komunikacyjnego. W chwili obecnej, koszty całego procesu zaprojektowania, a następnie wyprodukowania dowolnego sprzętu (urządzenia, maszyny, terminala, komputera, itp.) są tak niskie, że nie opłaca się ich wytwarzać specjalnie pod konkretne rozwiązania. Bardziej praktyczniejszym podejściem jest wytworzenie uniwersalnego rozwiązania sprzętowego, które swoją funkcjonalność otrzymuje dopiero w momencie wgrania do niego odpowiedniego oprogramowania. Przykładem tego może być terminal z ekranem dotykowym, który również został użyty w niniejszym projekcie. Wgranie do niego odpowiedniego oprogramowania może spowodować, że stanie się on urządzeniem wielofunkcyjnym wykorzystywanym np. w turystyce (nawigacje) lub w rozrywce poprzez nadanie mu możliwości odtwarzania muzyki i filmów lub w komunikacji lub wielu innych urządzeniach, które na co dzień wspierają przemysł oraz różne dziedziny życia codziennego. Dlatego, jak łatwo zauważyć to oprogramowanie wykorzystywane w różnego rodzaju sterownikach, terminalach roboczych, czy specjalistycznych maszynach i urządzeniach jest kluczowym czynnikiem, który tak na prawdę nadaje sprzętowi jego funkcjonalności.

## 7. LITERATURA

- [1] **M. Brzeziński**, *Organizacja produkcji w przedsiębiorstwie*, Difin, Warszawa, 2013
- [2] **B. Liwowski, R. Kozłowski**, *Podstawowe zagadnienia zarządzania produkcją*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków, 2007
- [3] **T. Karpiński**, *Inżynieria produkcji*, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 2004
- [4] <http://nowoczesnymagazyn.blogspot.com/>
- [5] [https://log4.pl/oferta-36-Still\\_serii\\_GX.html](https://log4.pl/oferta-36-Still_serii_GX.html)
- [6] [http://promag.pl/Koncepcje\\_przeplywu\\_towarow\\_w\\_magazynie,9817.html](http://promag.pl/Koncepcje_przeplywu_towarow_w_magazynie,9817.html)
- [7] **I. Olchowicz, A. Tłaczała**, *Sprawozdawczość finansowa*, Difin 2004
- [8] <http://www.budownictwo.org/produkt,45977,wozek-widlowy-balance-gdl,231,230,0,1>
- [9] <http://go.sap.com/poland/index.html>
- [10] **J. Auksztol, P. Balwierz, M. Chomuszek**, *SAP. Zrozumieć system ERP*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2016
- [11] **L. Neville**, *Planowanie strategiczne w firmie*, Wydawca **Onepress**, 2005
- [12] **E. Marciniak**, *Plany strategiczne*, Wydawnictwo Wiedza i Praktyka, 2016
- [13] **K. R. Fall, W. R. Stevens**, *TCP/IP od środka. Protokoły*. Wydanie II, Helion, 2013
- [14] **J. Rosenberg, A. Mateos**, *Chmura obliczeniowa. Rozwiązania dla biznesu*, Helion, 2011



# **OCENA EFEKTYWNOŚCI WDROŻENIA SYSTEMU NFORMATYCZNEGO WSPOMAGAJĄCEGO ZARZĄDZANIE GOSPODARKĄ MAGAZYNOWĄ**

## **1. WPROWADZENIE**

Informatyczne systemy wspierające zarządzanie powstały w skutek ciągłego wzrastania ilości danych i informacji w rozwijających się przedsiębiorstwach. Systemy te ułatwiają organizowanie, przechowywanie i wykorzystywanie gromadzonych danych. Zastosowanie systemów informatycznych w przedsiębiorstwie powinno pozwolić na zwiększenie efektywności zarządzania. Niewątpliwą korzyścią wynikającą z wdrożenia systemu informatycznego jest możliwość stałego dostępu przez kierownictwo do bazy aktualnych i wiarygodnych informacji. Takie usprawnienie pozwala na sprawną obsługę dostawców oraz klientów, co przekłada się na zwiększenie wydajności pracy personelu jak i osób zarządzających przedsiębiorstwem.

Większość zintegrowanych informatycznych systemów dostępnych obecnie na rynku to systemy zwane standardowymi czy też uniwersalnymi. Oznacza to, że nie są one tworzone na zamówienie konkretnej firmy oraz zawierają podstawowe funkcje, które są dostosowywane do potrzeb konkretnej jednostki. Systemy o zintegrowanym charakterze zarządzania można zaliczyć do systemów transakcyjnych, czyli takich które istnieją po to, aby rejestrować i przetwarzać powstające na bieżąco zdarzenia występujące na płaszczyźnie gospodarczej, do czego zalicza się wprowadzanie dowodów zakupu, rejestrowanie faktur czy dokumentów magazynowych. Zastosowanie takiego systemu umożliwi wsparcie procesów gospodarczych zachodzących w przedsiębiorstwie oraz uzyskanie informacji o ich przepływie. Dopasowanie systemu do konkretnego przedsiębiorstwa następuje poprzez parametryzację danych, które mają być dopasowane do potrzeb związanych ze sposobem działania systemu. Oczywiście parametryzacja nie jest możliwa w każdej jednostce, ponieważ często bywa tak, że przedsiębiorstwa mają specyficzne procedury i sposoby wykonywania pracy, którym podlegają odrębne zasady.

Zintegrowane systemy informatyczne są podzielone na obszary funkcjonalne dotyczące podstawowych zadań realizowanych w przedsiębiorstwie. Standardowy obszar funkcjonalny systemu zazwyczaj dzieli się na obszar finansowy, logistyczny, kadrowo-płacowy i produkcyjny. Obszar finansowy dotyczy księgi głównej oraz elementów związanych z czynnościami finansowymi, natomiast obszar logistyczny jest związany z planowaniem zaopatrzenia oraz sprzedaży jak i gospodarką magazynową, obszar kadrowo-płacowy związany jest z działem wynagrodzeń i czynnościami kadrowymi, obszar pro-

dukcji obejmuje planowanie produkcji jak i czynności, podczas których następuje przygotowanie produkcji.

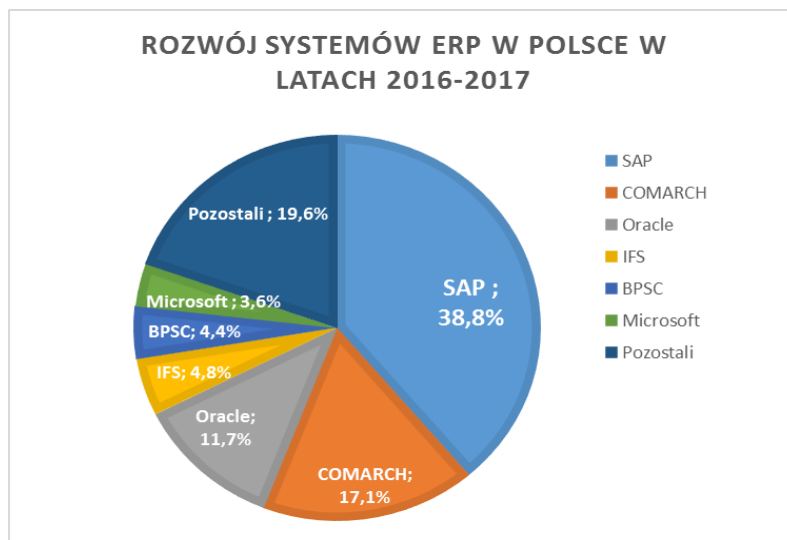
W niniejszym artykule dokonano szczegółowej charakterystyki systemów informatycznych wspomagających zarządzanie gospodarką magazynową oraz przedstawiono dostawców tego rozwiązania. Na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa produkcyjnego dokonano analizy efektywności wykorzystania systemu informatycznego wspomagającego zarządzanie gospodarką magazynową.

## **2. SYSTEMY INFORMATYCZNE WSPOMAGAJĄCE ZARZĄDZANIE GOSPODARKĄ MAGAZYNOWĄ (WMS)**

Systemy wspomagające zarządzanie gospodarką magazynową odgrywają znaczącą rolę w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Świadoma kontrola zapasów zmniejsza prawdopodobieństwo popełnianych błędów przy realizacji zamówień i dostaw, dzięki czemu wzrasta zadowolenie klientów ze świadczonych usług. Informatyzacja procesów zachodzących w magazynie prowadzi do eliminacji błędów decyzyjnych co przekłada się na zwiększenie wydajności. W zarządzaniu magazynem ważne jest to, żeby posiadać aktualne dane o istniejącym stanie, które są istotne ze względu na wymagania i oczekiwania współczesnych klientów, powoduje to, że reakcja na potrzeby rynku zewnętrznego są niemalże natychmiastowo realizowane. Funkcje użytkowe systemu umożliwiają wgląd do informacji dotyczących cech charakteryzujących zasoby oraz ich dostępną wielkość oraz miejsce lokalizacji asortymentu, a także podstawowe informacje o obsługiwanym kliencie. System zawierający moduł WMS (moduł magazyn, ang. Warehouse Management System) powinien zawierać funkcje pozwalające na sprawną lokalizację asortymentu w strefie magazynowej, gromadzenie dokumentacji związanej z czynnościami magazynowymi takimi jak wydawanie, przyjmowanie czy też przemieszczanie wewnętrzne asortymentu. Kolejnymi funkcjami, jakie są istotne w zarządzaniu magazynem to możliwość śledzenia zapotrzebowania w celu szybkiej reakcji związanej z brakiem zasobów oraz wspomaganie procesu inwentaryzacji. Moduł WMS ma za zadanie usprawnić czynności związane z funkcjonowaniem magazynu. Prawidłowe zaimplementowanie i dobranie funkcji może przynieść wiele korzyści w poprawie funkcjonowania jednostki magazynowej. System może ułatwić komunikację pomiędzy działami przedsiębiorstwa, co z kolei wpływa pozytywnie na współpracę jednostek zajmujących się odrębnymi działaniami. W usprawnieniu procesów magazynowania istotnym aspektem jest wsparcie procesu przyjęć, który wiąże się z późniejszym bardziej efektywnym rozmieszczeniem asortymentu. Producenci systemów typu WMS muszą być na tyle elastyczni żeby klient miał możliwość dopasowania funkcjonalności do własnych potrzeb, które są często zależne od różnorodności posiadanego asortymentu bądź też od wielkości powierzchni składowania.

W dobie XXI wieku istnieje wiele firm zajmujących się tworzeniem informatycznych systemów ERP. Obecnie systemy tego rodzaju działają w chmurze co oznacza, że użytkownicy mogą korzystać z wprowadzonych danych w każdym momencie, niezależnie od miejsca lokalizacji. Poniżej zostaną przedstawione najpopularniejsze systemy ERP, które w swojej funkcjonalności obsługują moduł magazynowy. Na wykresie z

rysunku 1 przedstawiono statystyki ukazujące rozwój rynkowy najpopularniejszych systemów ERP w Polsce, opierając swoje założenia o raport „The Enterprise Application Software Market in Poland: 2017-2021 Forecasts and 2016 Vendor Shares” wykonany przez firmę IDC.



Rys.1. Statystyczny rozwój systemów WMS w Polsce

### 3.1. SAP Business One

Program pomaga w stworzeniu siatki rozmieszczenia poszczególnych pomieszczeń i elementów poprzez jedną bazę danych, układ ten bierze pod uwagę zależności pomiędzy tymi elementami. Oprogramowanie wspomaga szybkie generowanie dokumentów potrzebnych do operacji zarządzania przepływem materiałów, co jest możliwe dzięki szczegółowej kontroli przyjęć i wydań z magazynu. Kolejną funkcją jaką oferuje producent jest kontrola nad posiadanymi zapasami, która polega na ustalaniu stałych miejsc dla danego rodzaju zapasu oraz systemowy nadzór nad zmianą lokalizacji. System również szczegółowo zarządza procesem kompletacji poprzez ułatwienie planowania tej czynności oraz automatyczne tworzenie wyceny takiego rodzaju zlecenia.

### 3.2. Comarch WMS Zarządzanie

Dostawca systemu Comarch tworzy systemy, które obsługują nieograniczoną ilość magazynów w ramach jednego pakietu. Program pozwala na zarządzanie strukturą magazynową co wiąże się z możliwością przyporządkowania dostępnych miejsc składowania do konkretnego asortymentu nadając im unikalny adres odpowiadający w danym czasie przypisanej jednostce. System wyposażony jest również w mechanizm kontrolujący ilość wydawanych oraz zwracanych opakowań wielokrotnego użytku takich jak: palety, pojemniki czy kontenery. Aplikacja umożliwi sprawne wykonywanie ewidencji magazynowej oraz kontrolę stanów bieżących poprzez zastosowanie



czytników kodów kreskowych i zastosowanie drukarek etykiet. System ten został w taki sposób stworzony żeby sprostać podstawowym wymaganiom dotyczącym zarządzania podstawowymi czynnościami dotyczącymi obszaru magazynowania.

### **3.3. IFS Magazyn**

Firma IFS ma do zaoferowania kilka funkcjonalności, jedną z nich jest obsługa opakowań zbiorczych i jednostkowych, jak i obsługa palet oraz kompletacja, funkcja ta również odnosi się do wszelkich przemieszczeń wewnątrz magazynu. Kolejną funkcjonalność opiera się na mobilnych ekranach oraz urządzeniach służących do identyfikacji kodów kreskowych, które skutecznie aktualizują informacje o stanie magazynowym. Ważną funkcjonalnością zaimplementowaną w strukturze systemowej programu są mechanizmy ułatwiające pracę operatorów magazynowych, urządzenia te zapisują czynności wykonywane w magazynie po czym umożliwiają generowanie zgromadzonych informacji w postaci raportów, wszystkie te czynności są wspierane przy użyciu aplikacji IFS Applications. System również kompleksowo wspomaga elementy procesu załadunku i transportu wewnętrznego odnoszącego się do indywidualnych zamówień klienta.

### **3.4. Oracle WMS**

Funkcjonalności oferowane przez dostawcę odnoszą się do wielopoziomowego zarządzania zapasami przy użyciu jednego rozwiązania dla wszystkich rodzajów zapasów oraz zmniejszenie ich ilości w dowolnym momencie. Rozwiązania systemowe programu opierają się na mobilnych technologiach, dzięki którym identyfikacja asortymentowa odbywa się poprzez wykorzystywanie terminali czytających kody kreskowe. Dzięki systemowi zapamiętującemu dane możliwe jest automatyczne generowanie etykiet identyfikujących zdarzenia zachodzące w magazynie. System ma możliwość również intuicyjnie wskazywać wolne w danej chwili miejsca odkładcze, co pozwala na umiejętne zarządzanie dostępną powierzchnią oraz składowanym asortymentem. Kolejną oferowaną możliwością jest opcja automatycznego bądź ręcznego tworzenia dostaw oraz ustalania dopuszczalnych terminów wykonywania tych operacji.

### **3.5. BPSC S.A. Impuls EVO**

System ten umożliwia wydzielenie przestrzeni magazynowej z dokładnością do mniejszych elementów, którymi mogą być np. półka, regał, gniazdo czy też magazyn jako spójna jednostka. Kolejną standardową funkcją programów do zarządzania gospodarką magazynową jest udostępnianie informacji o asortymencie za pomocą elektronicznego przekazu danych, czyli tzw. czytników kodów kreskowych zintegrowanych z systemem, integracja ta pozwala na natychmiastowe drukowanie etykiet przedstawiających specyfikacje towarową. Program daje możliwość obsługi zleceń kompletacji oraz załadunku poprzez odebranie zamówienia klienta, system automatycznie wskazuje położenie potrzebnych materiałów oraz rozdziela pracę pomiędzy osoby na odpowiednich stanowiskach.

### 3.6. Microsoft Dynamics NAV

Program pomaga w stworzeniu siatki rozmieszczenia poszczególnych pomieszczeń i elementów poprzez jedną bazę danych, układ ten bierze również pod uwagę zależności pomiędzy tymi elementami. Oprogramowanie wspomaga także szybkie generowanie dokumentów potrzebnych do operacji zarządzania przepływem materiałów, co jest możliwe dzięki szczegółowej kontroli przyjęć i wydań z magazynu. Kolejną funkcją jaką oferuje producent jest kontrola nad posiadanymi zapasami, która polega na ustalaniu stałych miejsc dla danego rodzaju zapasu oraz systemowy nadzór nad zmianą lokalizacji. System również szczegółowo zarządza procesem kompletacji poprzez ułatwienie planowania tej czynności oraz automatyczne tworzenie wyceny takiego rodzaju zlecenia.

## 3. EFEKTYWNOŚĆ ZASTOSOWANIA WMS: STUDIUM PRZYPADKU

Zastosowanie odpowiednich wskaźników pozwala na dokonanie oceny efektywności zastosowania wdrożonego systemu informatycznego klasy ERP, modułu WMS, firmy SAP. Na przykładzie danych z rzeczywistego przedsiębiorstwa produkcyjnego w branży automotive dokonano oceny efektywności wykorzystania WMS od roku 2016, w którym rozpoczęto wykorzystywanie programu informatycznego WMS. Poniżej dokonano analizy wybranych wskaźników dotyczących efektywności w dziale magazynu:

- **Wskaźnik dostaw bezbłędnych w stosunku do ogółu zrealizowanych dostaw**

Wskaźnik ten dotyczy procentowego określenia dostaw obarczonych błędami związanymi z wadliwością wysyłanych dostaw, bądź też innymi nieprawidłowościami wysyłek. Obliczenia wykonano poprzez zestawienie ilości dostaw nieobarczonych błędami do wszystkich dostaw ogółem.

Tab.1. Procentowy wskaźnik bezbłędności dostaw

	ROK					
	2006	2009	2014	2015	2016	2017
Liczba dostaw zrealizowanych prawidłowo ( $D_p$ )	33424	41038	46156	44582	59206	59882
Liczba dostaw zrealizowanych ogółem ( $D_o$ )	33761	41360	46366	44780	59355	60062
Procentowy wskaźnik bezbłędnie zrealizowanych dostaw $D_b$	99,00	99,22	99,55	99,6	99,75	99,70

Rezultat przeprowadzonego badania umożliwił wskazanie poziomu bezbłędności dostaw przed wdrożeniem systemu informatycznego oraz w czasie zarządzania wspomaganego

przez system. Wraz z wdrożeniem oprogramowania wydajność wzrosła, co można zauważyć poprzez analizę danych z tabeli 1. Już w 2016 roku widoczna jest poprawa bezbłędności, w 2015 roku z 34698 przyjętych do realizacji dostaw 610 było obarczone różnego rodzaju błędami, natomiast w roku kolejnym już tylko 277 z 39652 możliwych dostaw ogółem. Wyraźnie widać, że system spowodował wzrost poprawności realizowanych dostaw.

- **Wskaźnik zamówień przyjętych do realizacji w stosunku do ogólnej liczby zamówień**

Wskaźnik stosunku średniej liczby zamówień pozwala dokonać analizy wykonanych zleceń, co przekłada się na zbadanie czy efektywność i poprawność wykonywanej pracy jest zgodna z ustalonymi oczekiwaniami przedsiębiorstwa. Analizę przeprowadzono poprzez zestawienie liczby zamówień przyjętych do realizacji w badanym okresie, do liczby zamówień zrealizowanych bezbłędnie. Całkowita liczba zamówień jaką magazyn jest w stanie obsłużyć, w ciągu czterech lat przedstawiono w tabeli 2.

Tab.2. Procentowy wskaźnik bezbłędności zamówień

	ROK					
	2006	2009	2014	2015	2016	2017
Liczba zamówień zrealizowanych bezbłędnie ( $Z_{pr}$ )	44941	55852	60410	62471	77116	77918
Liczba zamówień przyjętych do realizacji ( $Z_{zb}$ )	45664	56284	60784	62816	77355	78062
Procentowy wskaźnik bezbłędnych zamówień w stosunku do ogółu wykonanych zamówień ( $Z_{bo}$ )	98,42	99,23	99,38	99,4	99,69	99,82

Z danych w tabeli 2 wynika, że system efektywnie wspomaga proces przyjmowania zamówień. Po wyliczeniu różnicy pomiędzy całkowitą liczbą zamówień a rzeczywistą liczbą zrealizowanych zamówień można zauważyć, że w roku 2014 błędność związana z nieprawidłową realizacją zamówień wyniosła 148, natomiast w 2017 roku spadła do 80 sztuk zleceń.

- **Wskaźnik poprawności wystawiania faktur**

Wskaźnik pozwolił zauważyć jak wprowadzenie systemu informatycznego wpływa na precyzję wystawiania dokumentów magazynowych takich jak na przykład faktury, wydania zewnętrzne czy też przesunięcia międzymagazynowe, dokumenty te stanowią kluczowe czynniki prosperowania magazynu, poprzez kontrolowanie stanów magazynowych. W tym przypadku analiza będzie dotyczyć wyłącznie faktur. Obliczeń dokona-

no zestawiając ilości faktur bezbłędnie wystawionych do ogólnej ilości wygenerowanych faktur na przestrzeni kilku lat (tabela 3)

Tab.3. Procentowy wskaźnik bezbłędności wystawionych faktur

	ROK					
	2006	2009	2014	2015	2016	2017
Liczba bezbłędnie wystawionych faktur ( $F_b$ )	45 122	56 032	56 092	62 273	92 313	94 120
Liczba faktur ogółem ( $F_o$ )	45 473	56 320	56 284	62 456	92 464	94 262
Procentowy wskaźnik bezbłędnie wystawionych faktur ( $F_{wb}$ )	99,23	99,49	99,66	99,7	99,84	99,85

Otrzymane wartości procentowe pokazują, że wykorzystywanie systemu informatycznego spowodowało ograniczenie powstawania błędów podczas generowania dokumentów magazynowych. W 2014 roku ilość popełnianych błędów przy wystawianiu faktur była równa liczbie 107 sztuk, natomiast już w 2017 roku wartość ta spadła i wyniosła 79 sztuk błędnie wystawionych faktur.

#### • Wskaźnik wydajności pracownika magazynowego

Wskaźnik określa efektywność wykonywanych czynności przez pracowników magazynowych. Wielkość ta jest miarą, która pozwala określić ilość zleceń jaką powinni wykonać pracownicy w ciągu przepracowanego roku. Wyodrębnienie wartości wskaźnikowych może wspomóc w rozwiązaniu problemów związanych na przykład z organizacją magazynu. Jeśli zmienna ta gwałtownie spadnie jest to sygnał dla osób odpowiedzialnych za nadzór magazynu, że w tym obszarze należy podjąć działania kontrolne, które mają na celu rozwiązać problem. W tabeli 4 wykonano obliczenia wskaźnika.

Tab.4. Wskaźnik wydajności pracownika

	ROK					
	2006	2009	2014	2015	2016	2017
wielkość obrotu w analizowanym okresie ( $O_m$ )	466 241	511 137	819 874	821 340	887 400	934 200
liczba pracowników w analizowanym okresie ( $L_p$ )	12	12	18	18	18	18
wskaźnik wydajności pracowników magazynowych ( $W_p$ )	38 853	42 595	45 549	45 630	49 300	51 900

Wyraźnie widać, że wydajność pracownika wzrosła. Wykorzystanie systemu WMS umożliwiło realizację większej ilości zleceń.

Przedstawiony przykład pokazuje wybrane korzyści, które wynikają z wdrożenia systemu WMS w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Z drugiej jednak strony zarząd firmy powinien rozważyć inwestycję w system informatyczny w ujęciu nakładów i kosztów utrzymania systemu.

## 5. POSUMOWANIE

Systemy informatyczne w przedsiębiorstwach stanowią istotny element funkcjonowania jednostki organizacyjnej ich niezawodność często przekłada się na osiągnięcie wielu pozytywnych skutków po wdrożeniu oraz późniejszym długoletnim użytkowaniu. W ostatnim czasie systemy informatyczne znacznie się rozwinęły pod wieloma względami, które wiążą się z ich uaktualnianiem i dostosowywaniem do potrzeb współcześnie prosperujących przedsiębiorstw.

Zaimplementowanie i późniejsze użytkowanie systemu wymaga dogłębnej analizy potrzeb badanej organizacji, ważne jest aby przeprowadzić szczegółowe badanie rzeczywistego zapotrzebowania na poszczególne funkcjonalności wdrażanego modułu, ponieważ każdy dodatkowy element wiąże się z kosztami. Istotną informacją jest również fakt, że koszty związane z wdrożeniem systemu nie kończą się na implementacji oprogramowania, ponieważ należy pamiętać, że dany system ma być obsługiwany przez kadrę pracowniczą i w tym momencie do kosztów ogólnych dochodzą jeszcze wydatki szkoleniowe oraz, te które odnoszące się do przystosowania pracowników względem nowej organizacji systemowej.

Analiza efektywności zastosowania WMS została przeprowadzona w oparciu o rzeczywiste dane firmy produkcyjnej działającej na rynku polskim jak i zagranicznym w branży automotive. Dane użyto w celu obliczenia wskaźników określających wydajność danego przedsiębiorstwa pod względem zaangażowania pracowników magazynowych, poprawności wystawiania dokumentów, jak i wydajności związanej z procentową błędnością realizacji zleceń oraz dostaw. Przedstawione czynniki głównie wykorzystano w celu udowodnienia wpływu systemu informatycznego na pozytywne aspekty rozwoju działalności przed użytkowaniem systemu jak i po wprowadzeniu oprogramowania. Wyniki jednoznacznie wskazują na to, że wsparcie informatyczne pracy w dziale magazyn wpływa pozytywnie na osiągnięcie lepszych wyników firmy.

## LITERATURA

- [1] **Adamczewski P.**, 2012, Systemy ERP-BI w rozwoju organizacji inteligentnej [w:] Systemy inteligencji biznesowej jako przedmiot badań ekonomicznych, Zeszyty Naukowe nr 113, Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice.
- [2] **Banaszak Z., Klos S., Mleczko J.**, *Zintegrowane systemy zarządzania*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2011, 2016.

- [3] **Lech P.**, Zintegrowane systemy zarządzania ERP/ERP II. Wykorzystanie w biznesie, wdrażanie, Difin, Warszawa, 2003.
- [4] **Kordel P.**, 2010, Inteligentne organizacje – zarządzanie wiedzą i kompetencjami pracowników, Wyd. PARP, Warszawa.
- [5] **Rut J., Kulińska E.**, *Zintegrowany system informatyczny w przedsiębiorstwie Produkcyjnym*, Instytut Organizacji Procesów Wytwórczych Politechnika Opolska, Opole, 2014.
- [6] **Woźniak W., Klos S., Patalas J.**, *Metody implementacji informatycznych systemów zarządzania w przedsiębiorstwach produkcyjnych*, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2008.
- [7] **Adam M.**, *WMS- pomocnik w magazynie*, Nowoczesny Magazyn. Pismo o Systemach Składowania i Magazynowania, 4/2011, s.68-69.
- [8] **Adamczewski P.**, *Ku inteligentnej e-logistyce*, Logistyka 5/2013.
- [9] **Adamczewski P.**, *Zintegrowane systemy informatyczne w praktyce*, Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie / Politechnika Śląska, 25/2004, s.339-352.
- [10] **Bartoszewicz B.**, *Projektowanie wdrożenia modułów logistycznych zintegrowanych systemów klasy ERP. Podejście procesowe*, Prace Habilitacyjne / Akademia Ekonomiczna w Poznaniu, Poznań 30/2007, s.305-326.
- [11] **Goliński M.**, Społeczeństwo informacyjne- często (nie)zadawane pytania, E-mentor nr 2 (9) / 2005.
- [12] **Jakimowicz M., Saniuk A., Saniuk S.**, Systemy informatyczne wspomagające produkcję i logistykę w przedsiębiorstwie, Logistyka 2/2015, s.258-267.
- [13] **Lewandowski J.**, *Informatyzacja procesów magazynowych kluczem do rozwoju firmy*, Instytut logistyki i magazynowania kluczem do rozwoju firmy, Logistyka 5/2015, s. 33-37,
- [14] **Manikowska K.**, Connect to what's next IFS, Magazyn biznesowy IFS, 3/2017, s.16-18.
- [15] **Paul R. Murphy Jr., Donald F.Wood**, *Nowoczesna logistyka*, One press, 10/2009, s.53-76,
- [16] **Pisek M.**, Zarządzanie MWS. Informatyczne systemy zarządzania. BPSC. Chorzów 2015, s.6-25.
- [17] **Soja P., Put D.**, *System klasy ERP jako narzędzie integracji przedsiębiorstwa*, Zeszyty Naukowe / Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, 838/2010, s.121-138.
- [18] **Zalewski W.**, *Analiza systemów informatycznych wspomagających zarządzanie produkcją w wybranych przedsiębiorstwach*, Economy and Management – 4/2011, s.181-192.



# **ZASTOSOWANIE METODY 5S W PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM – STUDIUM PRZYPADKU**

## **1. WPROWADZENIE**

Na sukces przedsiębiorstwa składają się działania takie jak: planowanie, uporządkowanie, kierowanie i kontrolowanie, co wymaga wiedzy i zaangażowania od pracowników organizacji. Zastosowanie technik utożsamianych z koncepcją zarządzania produkcją pozwala na podejmowanie decyzji, których skutkiem będzie wytworzenie dobra materialnego w określonej ilości, w określonym czasie i na określonym poziomie jakościowym. Wspomniane techniki i metody powstały na bazie praktycznych doświadczeń w obszarze organizacji produkcyjnych. Celem ich zastosowania jest rozwój przedsiębiorstwa oraz budowanie przewagi nad konkurencją. Rozwijające się przedsiębiorstwo, musi dostosować się do aktualnych warunków panujących na rynku oraz znaleźć odpowiednie rozwiązanie, które pozwoli zaoszczędzić czas, surowce oraz zasoby czy też podnieść wydajność procesu [1]. Metody wspomagające zarządzanie produkcją obejmują zarówno analizy ekonomiczne czy porównawcze (np. benchmarking), jak i szereg technik wspierających strategiczne aspekty działania przedsiębiorstwa produkcyjnego. Są to programy związane ze szczupłym zarządzaniem i produkcją (Lean Management, Lean Manufacturing), produkcją na czas (just-in-time), ale też liczne systemy zapewnienia jakości [2]. Wymienione podejścia mają za zadanie pomóc w organizacji pracy w przedsiębiorstwie przy równoczesnej redukcji kosztów. Taki efekt można najłatwiej osiągnąć poprzez zastosowanie zasad lean opartych na eliminowaniu marnotrawstwa. Ich głównymi postulatami są: praca grupowa, odpowiedzialność osobista, sprzężenie zwrotne, racja klienta, priorytet wartości dodatniej, standaryzacja, ciągłe ulepszenia, natychmiastowe eliminacja przyczyn błędów, przewidywanie oraz stopniowe doskonalenie [3]. Przy czym to metodę 5S, która ma na celu stworzenie oraz utrzymanie dobrze zorganizowanych, uporządkowanych miejsc pracy, uważa się za podstawę do identyfikacji i redukcji strat [2]. Wdrożenie podstawowych zasad 5S w rozwijających się przedsiębiorstwach o niewielkim stopniu automatyzacji procesu może przynieść wymierne korzyści przy niewielkich nakładach finansowych. W związku z tym, zaleca się rozpoczęcie usprawnień w firmie od analizy stanowisk pracy i wdrożenia prostych działań pozwalających na ich usystematyzowanie [2, 4].



## **2. 5S JAKO USPRAWNIENIE PROCESU W PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM**

Program 5S jest podstawą „szczupłego zarządzania”, które opiera się na maksymalnym wykorzystaniu środków przy jednoczesnym ograniczeniu zasobów potrzebnych do produkcji: ludzi, powierzchni, nakładów inwestycyjnych, czasu, itd. [3]. Metoda wzięła swą nazwę od pierwszych pięciu liter japońskich słów:

- Seiri (ang. sort/separate) – selekcja/sortowanie,
- Seiton (ang. set in order) – systematyka,
- Seiso (ang. sweep) – sprzątanie,
- Seiketsu (ang. standardize) – standaryzacja,
- Shitsuke (ang. self-discipline) – samodyscyplina/samodoskonalenie [1, 2, 4].

Selekcja polega na eliminacji zbędnych materiałów. Na tym etapie sortuje się i selekcjonuje przedmioty znajdujące się na stanowisku pracy kierując się przy tym zasadami: zostaje tylko to, co jest potrzebne, tylko tyle ile trzeba, tylko wtedy kiedy potrzeba. Po zakończonej identyfikacji, wszystkie rzeczy, które zostały uznane za niezbędne do wykonywania prac należy trzymać blisko siebie, a jeśli dane przedmioty nie są nam potrzebne to zostają usunięte ze stanowiska pracy. Systematyka oznacza uporządkowanie i wyznaczenie miejsca, w których wyselekcjonowane rzeczy będą składowane. Przedmioty, które są częściej używane powinno się umieszczać w widocznym i łatwo dostępnym miejscu. Następnym etapem jest sprzątanie. Należy zorganizować je w taki sposób, aby było ono jak najbardziej efektywne i zajmowało jak najmniej czasu, a było prowadzone względem ustalonego harmonogramu. Kolejnym krokiem jest standaryzacja, czyli opracowanie prostych, jasnych i łatwych do zrozumienia norm oraz procedur pozwalających właściwie organizować stanowisko pracy. Piąte „S” jest ostatnim, aczkolwiek znaczącym etapem w metodzie 5S. Samodyscyplina odnosi się do przyzwyczajień i starań (podczas ciągłego praktykowanie poprzednich kroków) aby ustandaryzowane stanowisko pracy zawsze wyglądało schludnie. Zasady 5S mają na celu skupienie się na zmapowaniu problemów na stanowiskach roboczych, pobudzenia u pracowników chęci do polepszenia swojego środowiska pracy oraz do poszukiwania pomysłów usprawnień i ich wdrożenia. W praktyce, metoda 5S to także dostosowanie pracy do możliwości psychofizycznych człowieka. Dzieje się tak poprzez: ergonomiczne ustawienie wysokości blatu roboczego, dobór odpowiedniego oświetlenia, zapewnienie łatwego i wygodnego dostępu do najczęściej używanych narzędzi. Te natomiast powinno się przechowywać w prawidłowo opisanych organizerach, kuwetkach lub dedykowanych szafach. Rozkład stanowisk pracy musi być powiązanych z kolejnością wykonywanych zadań w procesie, wtedy można powiedzieć, że proces jest płynny, a czas zoptymalizowany. Właściwie rozplanowane stanowisko pracy pozwala pracownikom zwiększyć wydajność działań przy zminimalizowanym ryzyku popełnienia błędów. Aby to osiągnąć zaleca się stosowanie tablic cieni, instrukcji wizualnych lub skanerów i kodów identyfikujących części.

Metoda 5S jest jedną z podstaw organizacji środowiska pracy, która sprzyja działaniom logistycznym na rzecz jakości, w tym: ciągłemu doskonaleniu własnego otoczenia i stosunków interpersonalnych, co w wyniku daje większą efektywność organizacji [5]. W wielu młodych lub niewielkich organizacjach przebieg procesów produkcyjnych nie jest zoptymalizowany, co znaczy często nieprzemysłane ułożenie stanowisk roboczych, brak identyfikacji i właściwego kierunku zachodzenia między sobą wykonywanych podzadań co wpływa na jego efektywność. Ponadto, każdy proces zakłócany jest przez różne czynniki, tj. zakłócenia: losowe i specjalne. Przy czym te pierwsze występują zawsze i w dużej liczbie, co prowadzi do znaczącego efektu synergii [6]. Z kolei czynniki, które mogą być wykryte oraz zidentyfikowane nazywane są zakłóceniami specjalnymi. Powodują zmiany właściwości jakościowej produktu oraz procesu produkcyjnego. Zakłócenia można łatwo wyeliminować, pod warunkiem, że zostaną one wykryte, wraz z identyfikacją ich miejsca i czasu występowania. Poprawę jakości całego procesu montażu można osiągnąć poprzez zmiany organizacyjne, a w ten sposób ograniczyć ilość czynników losowych dzięki zastosowaniu metody 5S.

Do prawidłowego wdrożenia metody 5s niezbędne jest przeprowadzenie analizy przepływu procesu. Zalicza się do tego czynności takie jak: modelowanie procesu, mierzenie czasu wykonywanych zadań, identyfikacja wąskiego gardła, wskazanie zadań z największym marnotrawstwem. Zalicza się do niego m.in.: nadmierny ruch, nadmierny transport, oczekiwanie, błędy, nadprodukcja [6]. Celem tych działań jest wprowadzenie zmian i rozwiązań, które wyeliminują lub zminimalizują zaobserwowaną „Mudę” (straty). Do zobrazowania opisanej idei posłużą problemy z przebiegiem procesów logistycznych, które mogą wynikać ze złej organizacji stanowisk pracy lub nieprawidłowego składowania materiałów, utrudniających transport wewnętrzny. W efekcie tego dochodzi do spowolnienia całego procesu produkcyjnego. Przykładową przyczyną jest np.: brak wyznaczonych ścieżek wewnętrznych i zatory w ruchu spowodowane nieporządkiem. Korzystając z metody 5S przedsiębiorstwo może wyeliminować daną nieprawidłowość wyznaczając linie transportu wewnętrznego dla wózków platformowych oraz pracowników hali produkcyjnej (np. przy wykorzystaniu kolorowej taśmy lub farby) [5]. Inną korzyść przynosi wdrożenie zasad systematycznego sprzątanía maszyn i stanowisk pracy. Skutkuje to lepszą widocznością niebezpiecznych elementów i ostrych krawędzi, a w efekcie zapewnia zwiększenie bezpieczeństwa pracowników [4].

### 3. STUDIUM PRZYPADKU

W niniejszym artykule przedstawiono analizę możliwości zastosowania metody 5s, celem redukcji czasu montażu rowerów w przedsiębiorstwie z województwa lubuskiego. Jest to pewne wyzwanie, szczególnie przy dezorganizacji przebiegu procesu produkcji oraz braku świadomego stosowania metod pozwalających na zwiększenie jego wydajności i jakości. W badanym przedsiębiorstwie odnotowano potrzebę:

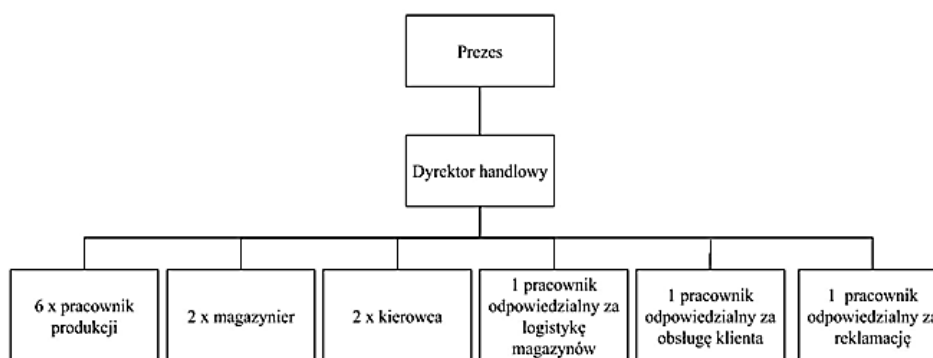
- wykonania analizy głównego procesu prowadzonego w przedsiębiorstwie (montażu rowerów),

- zbudowania graficznej reprezentacji procesu,
- zaproponowania usprawnień według metodyki 5s dla wybranych obszarów procesu, ich wdrożenia i zbadania ich skuteczności.

Zakłada się, że takie działania pozwolą wyeliminować część zakłóceń występujących w procesie montażu rowerów.

### 3.1. Charakterystyka przedsiębiorstwa

Analizowanym w niniejszej publikacji przedsiębiorstwem jest polskiej producent rowerów, działający na rynku rodzimym i zagranicznym od 21 lat. W Polsce posiada ok. 394 partnerów biznesowych, a w sąsiadujących państwach, tj. Czechach i Słowacji, liczba kontrahentów wynosi kolejno 74 oraz 72. Firma dostarcza produkty również do Estonii, Łotwy, Niemiec a także do Chin. Dzięki temu sprzedaż sięga nawet do ok. 100 tys. rowerów rocznie. Przedsiębiorstwo posiada tylko jedną siedzibę znajdującą się w Polsce. Powierzchnia firmy to ok. 300m<sup>2</sup> użytkowych i biurowych oraz ponad 1000m<sup>2</sup> przeznaczonych na magazyny (około 500m<sup>2</sup> placu użytkowego). Producent zapewnia również własny transport, dostosowywany do wielkości zamówienia. Poniżej przedstawiono strukturę organizacyjną omawianego przedsiębiorstwa (Rys. 1); usługi z zakresu IT i księgowości są zlecane jednostkom zewnętrznym.



Rys.1. Struktura organizacyjna przedsiębiorstwa; [opracowanie własne]

Na rynku polskim istnieje wiele konkurencyjnych firm zajmujących się zarówno produkcją rowerów jak i montażem z gotowych elementów. W opisywanym przedsiębiorstwie proces montażu jednego roweru trwa około 18 minut, dając około 30 rowerów dziennie. W firmach konkurencyjnych [7, 8] proces ten trwa znacznie krócej. W ciągu dnia roboczego pracownicy są w stanie zmontować około 400 rowerów, co oznacza spadek czasu montażu do ok. 1 min 20s. Przy linii montażowej konkurencji pracuje wykwalifikowana kadra, przy czym każdy jest odpowiedzialny za dany obszar. W analizowanej firmie, istnieje jedna linia produkcyjna – montaż ramy i trzy stanowiska pracy (montaż kierownic, siodeł i kół), natomiast u konkurencji są minimum cztery niezależne

zautomatyzowane linie produkcyjne do produkcji kół z wykorzystaniem automatycznych napletarek.

Ich hale uposażone są w zautomatyzowany przenośnik rolkowy powiązany z bazą danych, która zawiera szczegółowy opis każdej części wraz ze zdjęciem i wagą łącznie. Inteligentny system wskazuje magazynierom dokładną lokalizację produktu, a precyzyjne informacje o zamówieniu wyświetlane są na laserowym czytniku przypisanym do operatora. Wygląd i logistyka magazynu również stanowią duży kontrast – w opisywanym przedsiębiorstwie nie występują żadne usprawnienia technologiczne: brak skanerów, systemu opisu części, informacje o lokalizacji produktu, dedykowanych regałów itp. Części są zapakowane w kartonach i posegregowane względem: rodzaju, koloru, rozmiaru, tworząc tym samym piętra kartonów dedykowanych dla poszczególnych stanowisk. W porównywanych przedsiębiorstwach zajmujących się montażem rowerów hale mają wyznaczone regały z częściami, które można zeskanować, aby uniknąć pomyłek; do zdejmowania i przemieszczania towarów używa się wózków widłowych, towary rozmieszcza się według analizy ABC, a każdy etap produkcji jest monitorowany przez komputer. Końcowy etap produkcyjny, zarówno w przypadku firm konkurencyjnych i omawianej, jest podobny i obejmuje pakowanie roweru oraz umieszczenia na nim naklejki z informacją o modelu, rozmiarze ramy i dacie produkcji. W tym stanie rower jest gotowy do podróży – na magazyn, a często od razu do sklepu [7, 8]. Proces montażu odbywa się w ten sam sposób i obejmuje: składanie m.in. steru, widelca, osi suportu, korby, hamulców czy przerzutki, po zejściu gotowej ramy z linii dodaje się kolejne podzespoły – siodło, zaślepki itp. Następnie wszystkie elementy są regulowane.

### 3.2. Analiza procesu montażu

Działalności produkcyjna w omawianej firmie polega na procesie montażu rowerów z gotowych komponentów. Wszystkie te działania odbywają się równolegle na trzech stanowiskach pracy: montażu ram, kierownic i siodeł oraz kół. Dla kierownic i siodeł dedykowane jest wspólne gniazdo montażowe, ze względu na małą ilość używanych narzędzi oraz występowanie wielu wspólnych. Obserwując funkcjonowanie przedsiębiorstwa, stwierdza się, że to na etapie montażu występuje najwięcej możliwości zastosowania zmian zgodnych z metodą 5s.

Przeprowadzenie analizy procesu montażu pozwoliło na jego zmapowanie i przedstawienie w wersji graficznej za pomocą notacji BPMN (Business Process Management Notation). Jej zaletą jest m.in. jednoznaczność i poprawa komunikacji między organizacjami (w podejściu B2B) [9]. Proces montażu zaczyna się od biura (skąd wpływa zlecenie), następnie kontynuowany jest na obszarze montowni oraz magazynu. Najbardziej rozbudowane ogniwo to montaż ram. Determinuje on czas trwania całego procesu, w związku z tym jest najbardziej kluczowy. Usprawnienia pozostałych obszarów (mniej złożonych) wpłynęły na efektywniejsze wykorzystanie pracowników.

Na grafice z zamodelowanym procesem (Rys. 2) nie uwzględniono szczegółowego rozwinęcia działań montażowych, aczkolwiek zawarto je w poniższym opisie prac.

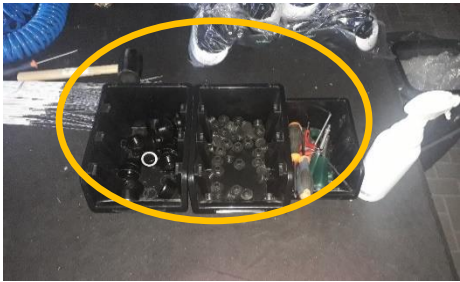

1. Montaż ramy – rozwinięcie:
  - 1.1. Zakuwanie misek na ramie
  - 1.2. Montowanie suportów
  - 1.3. Przygotowanie widelców
  - 1.4. Osadzenie widelców w ramie
  - 1.5. Zakładanie kierownicy
  - 1.6. Zakładanie linek przerzutkowych i mocowanie do ramy
  - 1.7. Mocowanie błotnika przedniego i lampki przód
  - 1.8. Osadzenie koła przedniego (wyregulowanie hamulców i dokręcenie nakrętek koła przedniego)
  - 1.9. Przykręcanie bagażnika do ramy
  - 1.10. Przykręcanie błotnika do ramy
  - 1.11. Założenie łańcucha na przerzutkę
  - 1.12. Osadzenie koła tylnego - rozwinięcie
  - 1.13. Zamocowanie cięgła do przerzutki
  - 1.14. Naciągnięcie łańcucha i skręcenie nakrętek koła tylnego
  - 1.15. Przykręcenie dźwigni hamulca koła tył
  - 1.16. Założenie osłony na łańcuch (rower transportowany jest z taśmy produkcyjnej do strefy magazynu)
  - 1.17. Założenie pierścienia zaciskowego pod siodło
  - 1.18. Zamocowanie siodła
  - 1.19. Zakładanie zaślepek
  - 1.20. Kontrola jakości
2. Montaż kierownic – rozwinięcie:
  - 2.1. Montaż dzwonka na kierownicę
  - 2.2. Założenie przerzutek
  - 2.3. Zamocowanie hamulca ręcznego
  - 2.4. Założenie chwytów gumowych
  - 2.5. Zamocowanie zaślepek
3. Montaż siodeł – rozwinięcie:
  - 3.1. Przygotowanie części
  - 3.2. Regulacja sztyc pod-siodłowych
  - 3.3. Założenie siodła na sztycę
4. Montaż kół – rozwinięcie:
  - 4.1. Przygotowanie kół oraz opon
  - 4.2. Kontrola jakości, odrzucenie popsutych
  - 4.3. Założenie dętki na koło
  - 4.4. Założenie opony
  - 4.5. Pompowanie

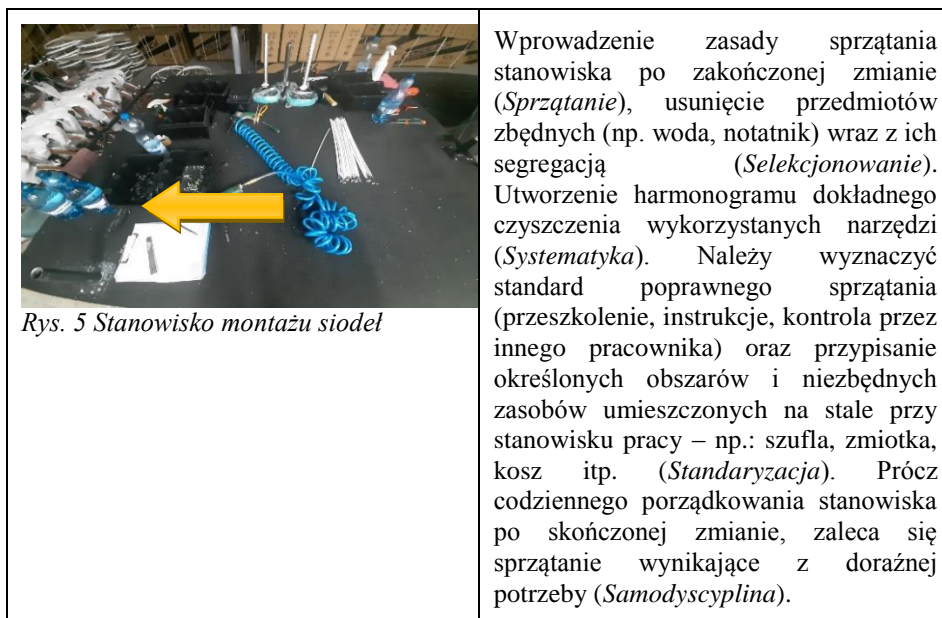
### 3.3. Zastosowanie metody 5s na przykładzie wybranych stanowisk pracy

W badanym przedsiębiorstwie, wdrożenie zmian opartych na metodologii 5s, rozpoczęto od uzyskania pozwolenia kierownictwa na prowadzenie obserwacji każdego ze stanowisk montażowych w celu ich usprawnienia. Umożliwiło to zaproponowanie szeregu usprawnień. Szczegółowa analiza obejmowała stanowiska montażu kierownic, siodeł

i ram. Na tej podstawie zaproponowano zmiany uwzględniające zasady 5s (Tab. 1).

*Tab. 1. Zestawienie stanu montowni przed wprowadzeniem 5s wraz z możliwymi usprawnieniami; opracowanie własne*

Stanowisko przed usprawnieniem	Propozycje usprawnień wg standardu 5s
 <p>Rys. 3. Stanowisko montażu kierownic</p>	<p>Wytyczenie miejsca dla narzędzi: zastosowanie tablicy cieni, tablic magnetycznych lub takich obszarów na stole roboczym dla drobnych elementów montażowych (śrubki, podkładki) (<i>Selekcja</i>). Oznaczenie narzędzi kolorowymi tasiemkami, naklejkami, etykietami, kodami, umieszczenie w charakterystycznych kuwetach przyspieszy ich porządkowanie i identyfikację przez każdego pracownika (<i>Standaryzacja</i>).</p>
 <p>Rys. 4. Stanowisko montażu ram</p>	<p>Wykorzystanie czytników i skanerów. Te ostatnie mogą współpracować z interaktywną instrukcją montażu wyświetlaną na monitorze, wraz z informacjami nt parametrów elementów (kolorystyka, model, położenie w magazynie, ilość do pobrania itp.) niezbędnych w kompletowaniu danego zamówienia. Skanowanie oprzyrządowania przed i po zmianie pracowniczej, pozwoli na szybką identyfikację braku któregoś z nich (<i>Sortowanie</i>) oraz wprowadzenia rutyny pobierania i odkładania na przypisane miejsce (<i>Systematyka i Samodyscyplina</i>). Stosowanie odpowiednich narzędzi kontroli wizualnej pozwala na wyeliminowanie wielu rodzajów marnotrawstwa na stanowiskach pracy (<i>Sprzątanie i Samodyscyplina</i>).</p>



Rys. 5 Stanowisko montażu siodeł

Wprowadzenie zasady sprzątnięcia stanowiska po zakończonej zmianie (*Sprzątnięcie*), usunięcie przedmiotów zbędnych (np. woda, notatnik) wraz z ich segregacją (*Selekcjonowanie*).  
 Utworzenie harmonogramu dokładnego czyszczenia wykorzystanych narzędzi (*Systematyka*). Należy wyznaczyć standard poprawnego sprzątnięcia (przeszkolenie, instrukcje, kontrola przez innego pracownika) oraz przypisanie określonych obszarów i niezbędnych zasobów umieszczonych na stałe przy stanowisku pracy – np.: szufla, zmiotka, kosz itp. (*Standaryzacja*).  
 Prócz codziennego porządkowania stanowiska po skończonej zmianie, zaleca się sprzątnięcie wynikające z doraźnej potrzeby (*Samodyscyplina*).

W kroku drugim prowadzono obserwację wykonywanych czynności przez pracowników wraz z pomiarem czasu ich realizacji. Metoda obserwacji jawnej pozwoliła na zgromadzenie danych pierwotnych, dzięki systematycznemu przyglądaniu się działaniom procesu montażu [10]. Do metody obserwacji użyto przygotowanego wcześniej arkusza do zapisu pomiarów oraz stopera. Obserwacje pozwoliły na zmierzenie czasu przebiegu procesu i wyznaczenie jego średniej wartości, a także na zaobserwowanie zachodzących zjawisk (popelnianych błędów, przestojów, zbędnych ruchów).

Badanie obejmowało pomiar czasu – tj. wykonanie pięciu obserwacji dla każdego podprocesu w przeciągu 5-ciu kolejnych dni roboczych, w odstępie dobowym. Uwzględniono w nim czas przestojów związanych z doбором odpowiednich narzędzi.

Pełen zestaw danych dla stanowiska montażu ram przedstawia Tab. 2.

Tab. 2. Zestawienie pomiarów na stanowisku ramy; opracowanie własne

Dzień 1 [min.]	Dzień 2 [min.]	Dzień 3 [min.]	Dzień 4 [min.]	Dzień 5 [min.]
18:00	19:02	16:02	16:59	18:00

Przy wyznaczaniu średniego czasu montażu ramy, wartości z Tab. 2 zaokrąglono do pełnych minut.

$$= \text{ŚREDNIA } (18+19+16+17+18) = 18:00 \text{ minut}$$

Podobne pomiary dokonano także dla kierownic, siodeł i kół. Zatem, przed zastosowaniem metody 5S, średni czas montażu prezentował się następująco (Tab. 3):

Tab. 3. Średnie czasy montażu przed zastosowaniem metody 5S; opracowanie własne

Rama [min.]	Kierownica [min.]	Siodła [min.]	Koła [min.]
18:00	4:20	2:10	7:30

Następnym krokiem było zaproponowanie wybranych zmian wg standardów 5s. Ich wdrożenie nadzorował pracownik biurowy w konsultacji z kierownikiem produkcji. W związku z tym, pracowników montażu poinformowano o planowanych zmianach oraz przeszkolono, tak aby mogli się do nich dostosować. Na organizerach oraz regałach zostały umieszczone etykiety z opisami danych narzędzi (Rys. 3). W celu redukcji czasu przestoju związanego z doбором odpowiedniego oprzyrządowania, ze stołów zostały usunięte wszystkie zbędne przedmioty (woda, długopisy, kartki – Rys. 5), pozwalając przy tym na identyfikację najczęstszych uszkodzeń oraz ich przyczyn. Wszystkie narzędzia zostały posegregowane zgodnie z ich przeznaczeniem. W przypadku stanowiska kierownic (Rys. 3): śrubokręty, imbusy, młot gumowy znalazły się w tym samym organizerze oraz nadano im etykiety, tak by przebieg montażu przebiegał szybciej, a także pozwolił zredukować ilość błędów. Analogicznie postąpiono w przypadku stanowiska montażu ram (Rys. 4). Utrzymanie porządku i czystości na stanowiskach pracy wymagało zadbania o to, aby pracownicy odkładali narzędzie na przydzielone miejsca oraz usuwali zbędne rzeczy. Zobowiązało to kadrę kierowniczą do systematycznej kontroli stanowisk. Założono, że wdrożenie opisanych wyżej zmian opartych na metodzie 5S, pozwoli na uzyskanie oszczędności czasu na stanowiskach montażowych.

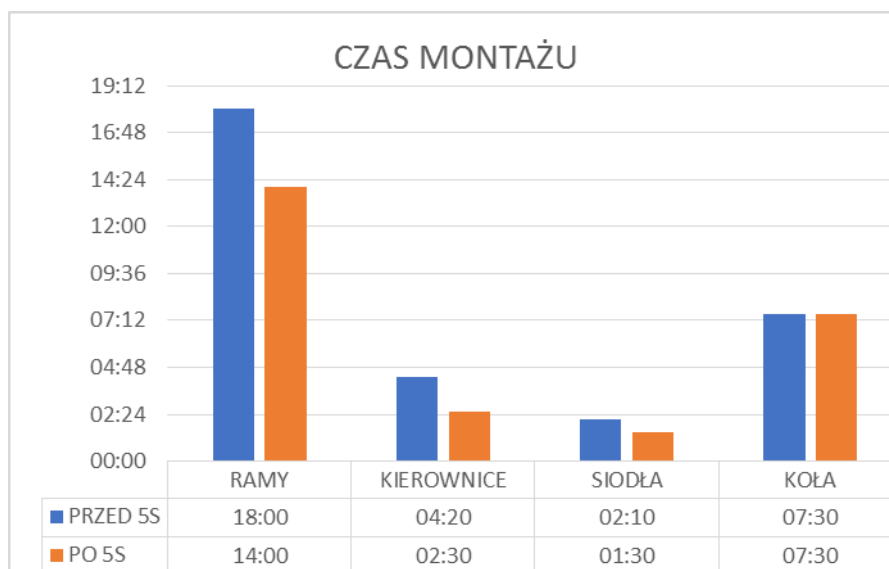
Po miesiącu czasu ponownie przeprowadzono obserwacje i pomiary w celu zbadania efektów. Uzyskano następujące średnie czasy montażu danych podzespołów (Tab. 4):

Tab. 4. Średnie czasy montażu po wdrożeniu 5S; opracowanie własne

Rama [min.]	Kierownica [min.]	Siodła [min.]	Koła [min.]
14:00	2:30	1:30	7:30

Zestawienie uzyskanych uśrednionych czasów montażu, zarówno przed i po wprowadzeniu zmian, przedstawiono na wykresie (Rys. 6).





Rys. 6. Czas wykonywanych działań montażowych dla podzespołów części rowerowych; opracowanie własne

Stwierdza się, że wprowadzone usprawnienia przyniosły oczekiwany efekt. Zastosowanie zasad metody 5s pozwoliło wyeliminować zbędny czas na szukanie potrzebnych narzędzi nawet o 22%. Uprzednio montaż ramy trwał 18:00 min. Czas ten został skrócony do 14 min. W przypadku kierownic redukcja czasu wyniosła 42%, dla montażu siodeł 31%, natomiast czas montażu kół pozostał taki sam.

#### 4. PODSUMOWANIE

Wdrożenie technik z obszaru Lean Management w przedsiębiorstwie wpływa na zwiększenie efektywności procesu, redukcję strat i wzrost bezpieczeństwa pracowników. Wprowadzenie zasad 5S w firmie produkcyjnej zaleca się rozpocząć od zmapowania procesu poddanego dalszej analizie, co wpływa na jego transparentność i lepszą identyfikację marnotrawstwa. Efekt zaplanowanych zmian wymaga przestrzegania przez pracowników ustalonych zasad, a ich samych zobowiązuje do samodyscypliny. Na podstawie dalszych obserwacji prowadzonych w przedsiębiorstwie można stwierdzić, że zmniejszyło się prawdopodobieństwo występowania zakłóceń losowych wynikających z braku użycia niewłaściwych narzędzi lub marnowania czasu – a przy tym zasobów finansowych na odnalezienie części. Głównym błędem był brak systematyzacji oraz niedostosowanie stanowisk pracy. Według pracowników firmy, opisane wyżej przyczyny, powodowały obniżenie standardów jakościowych na etapie montażu, co zmniejszało popyt na wyrób. Zastosowanie opisanych w rozdziale 3 zmian, skutkowało poprawą organizacji procesu w postaci skrócenia wykonania 1 szt. wyrobu o 22% oraz zmniejszenie się średniej liczby reklamacji. Uwzględniając fakt, że montaż rowerów odbywa się bez wykorzystania specjalistycznych maszyn i nowoczesnych

technologii, czas wykonawczy nie jest duży. Przeprowadzone badanie umożliwiło zidentyfikowanie najsłabszych obszarów, które wymagały podjęcia doraźnych działań korygujących. Na podstawie uzyskanych pomiarów czasu można stwierdzić, że nawet częściowe wdrożenie zasad 5S w przedsiębiorstwie, daje znaczące efekty w zakresie wzrostu efektywności oraz jakości całej produkcji. Warto zaznaczyć, że wymagane jest przestrzeganie wprowadzonych zmian poprzez kontrole, budowanie świadomości pracowników, nagradzanie pożądanых zachowań czy prowadzenie szkoleń, szczególnie jeżeli przedsiębiorstwo nie posiada zmechanizowanej hali produkcyjnej oraz niewielki lub rotujący zespół roboczy.

## LITERATURA

- [1] **M. Matejun, K. Szymańska**, *Perspektywy rozwoju przedsiębiorczości w warunkach niepewności i ryzyka*, Monografie PŁ, Łódź 2013.
- [2] **K. Santarek, B. Skołud, A. Kosieradzka**, Organizacja i zarządzanie produkcją i usługami, w: *Inżynieria produkcji. Kompendium wiedzy*, red. R. Knosala, Wyd. PWE, Warszawa 2017, pp. 23-145.
- [3] **K. Zimmewicz**, *Współczesne koncepcje i metody zarządzania*, Wydanie II zmienione, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2003.
- [4] **M. Kuczyńska-Chalada**, *Proces wdrożenia metody 5S w przedsiębiorstwie produkcyjnym*, w: *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*. Tom 1, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2017, pp. 604-610.
- [5] **A. Pacana, A. Gazda, P. Wołoszyn**, *Wykorzystanie metody 5S do doskonalenia procesów logistycznych*, *Modern Management Review* 2014, vol. XIX, 21 (2/2014), pp. 73-80.
- [6] **W. Matwiejczuk**, *Koncepcja i metody zarządzania*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok 2009.
- [7] **Romet**, <https://www.romet.pl/Produkcja,108,0.html> [dostęp: 31.07.2019].
- [8] **Kross**, <https://www.kross.pl/pl/firma/produkcja> [dostęp: 31.07.2019].
- [9] **Witryna BPMN**, <http://www.bpmn.org/> [dostęp: 31.07.2019].
- [10] **C. Wiśniewski**, *Wpływ wdrożenia zasad Lean Manufacturing na efektywność i jakość*, *Problemy Eksploatacji* 2010, nr 2, pp. 35-42.



# DOSKONALENIE PROCESÓW PRODUKCYJNYCH ZA POMOCĄ NARZĘDZI KAIZEN

## 1. WPROWADZENIE

Dzisiejsze podejście w zakresie działań inżynierskich jest nierozzerwalnie związane z wiedzą o jakości zarówno w zakresie zagadnień teoretycznych takich jak: ekonomia, matematyka, statystyka jak i praktycznych dotyczących materiałoznawstwa, technologii, konstrukcji, metrologii i innych. Wymaga to od inżynierów coraz szerszej wiedzy oraz ciągłego doskonalenia własnej działalności.

Ciągłe usprawnienie procesów produkcyjnych przedsiębiorstwa jest podstawą funkcjonowania większości zakładów. W dzisiejszych, dynamicznych czasach, brak progresu przedsiębiorstwa zapobiega rozwojowi produktu końcowego, dzięki czemu konkurencja zyskuje rynek wytwarzając produkty podobne, w tańszy sposób. Artykuł jest wynikiem obserwacji dokonanych w przedsiębiorstwie Aircraft Seating GmbH jakie dało wdrożenie programu RPCU (Recaro Proces Ciągłego Ulepszania).

Konieczność ciągłego doskonalenia dotyczącego wszystkich sfer życia jest kluczową koncepcją japońskiej filozofii kaizen. Pomimo, że ustawiczne dążenie do doskonałości w kaizen odbywa się małymi krokami, sam proces przynosi ogromne wyniki w dłuższej perspektywie czasowej. Koncepcja kaizen wyjaśnia, dlaczego firmy w Japonii nie mogą pozostawać przez dłuższy czas statyczne. Natomiast kadry kierownicze zachodu preferują innowacje: ciągłe doskonalenie procesów produkcyjnych, ogromne zmiany dzięki przełomom technologicznym i najnowsze koncepcje w zarządzaniu lub technikach produkcji. Te innowacje są gwałtowne i radykalne, w przeciwieństwie do kaizen, który wprowadza udoskonalenia powoli i subtelnie. Innowacje są jednorazowe, a ich skutki bywają często problematyczne, podczas gdy proces kaizen, bazujący na spokoju i nisko kosztowym podejściu, zapewnia długofalową progresję. Kaizen to również podejście mało ryzykowne – zawsze bowiem można powrócić do starych metod bez ponoszenia wysokich kosztów.

Funkcjonowanie firm w dość mocno zmieniającym się otoczeniu, które charakteryzuje się silną konkurencją, ciągłą zmianą wymagań klienta, szybkim rozwojem technologii informatycznych wymaga ulepszania ich działalności. Możliwości udoskonalenia zarządzania wynikają z dostępności dużej liczby koncepcji czy metod wspomagających ten proces. Użyteczność tych koncepcji dla rozwiązywania coraz bardziej złożonych problemów, a przede wszystkim pozytywne doświadczenia z ich wdrażania pokazują, że stosowanie innowacyjnych, nowoczesnych narzędzi było koniecznością. Z innej strony,

te metody są ciągle wzbogacane, i ciągle pojawiają się nowe, które obejmują kolejne obszary funkcjonowania przedsiębiorstw bądź też mające charakter przekrojowy [4].

Poszukiwanie nowoczesnych rozwiązań w zakresie zarządzania produkcją wynika z faktu, iż szybkie zmiany, jakie zachodzą na rynkach w technologiach produkcji czy technologiach informatycznych, zmieniają radykalnie podstawowe tendencje w organizacji procesów produkcyjnych. W obecnie funkcjonujących firmach można zaobserwować [4]:

- dużą różnorodność produktów wytwarzanych na podstawie standardowych elementów,
- rozwój elastycznych systemów produkcyjnych,
- produkcję w małych partiach, a nawet jednostkową,
- niską powtarzalność produkowanych partii wyrobów,
- skracanie cykli produkcyjnych,
- wprowadzanie samokontroli w miejsce sformalizowanych procesów kontroli,
- produkcję na zamówienie, a nie na zapas,
- minimalizację cyklu zamówień,
- wzrost uniwersalności i wszechstronności pracowników.

Istotne zmiany w zarządzaniu produkcją powodują konieczność zastąpienia ekonomii skali ekonomią różnorodności. Konkutowanie w tym zakresie jest możliwe jedynie wtedy, gdy przedsiębiorstwo jest w stanie zaoferować klientowi przede wszystkim odpowiedni, o określonym standardzie, produkt, po odpowiedniej cenie przy jednoczesnym przestrzeganiu innych wymogów rozumianych jako wysoki standard obsługi klienta. Problem komplikuje się wraz ze skracaniem się cykli życia produktów, rosnącą liczbą asortymentów i odmian wyrobów, rosnącą i ciągle zaostrzającą się konkurencją, zmieniającymi się ciągle gustami, preferencjami czy upodobaniami klientów [9].

Proces ciągłego doskonalenia systemu zarządzania wskazuje na szeroki zakres działań, które należałoby podjąć, aby osiągnąć poziom konkurencyjności, pozwalający zająć silną pozycję na rynku. Wymóg doskonalenia procesów zarządzania przedsiębiorstwem implikuje dobór różnorodnych koncepcji, metod czy technik organizacji i zarządzania. Obok znanych rozwiązań pojawiają się nowe, które dopiero rozwijają się, jak np. zarządzanie wiedzą, zarządzanie innowacjami, zarządzanie technologiami, zarządzanie procesowe, itp. Koncepcje te mają szeroki, wieloprzekrojowy charakter, wymagają interdyscyplinarnej wiedzy [6].

Możliwość wyboru spośród różnych metod, pozwala na lepsze opracowanie sposobów realizacji przyjętych strategii rozwojowych. Przewag konkurencyjnych poszukuje się bowiem w różnych obszarach funkcjonowania przedsiębiorstwa, np.:

- w obszarze marketingu – dobierane są tutaj nowoczesne i najbardziej odpowiednie narzędzia, pozwalające komercjalizować nowe produkty,
- kształtować kanały dystrybucji i relacje z klientami,
- w obszarze produkcji – wykorzystywanie metod wspomagających prace związane z uruchamianiem nowej produkcji, sterowanie produkcją oraz samą produkcją,

- w obszarze logistyki – kształtując łańcuchy dostaw, tworząc systemy logistycznej obsługi klienta, wdrażając nowoczesne systemy informatyczne ułatwiające współpracę i komunikowanie się zarówno z klientami, jak i dostawcami,
- w obszarze badań i rozwoju – stosowanie narzędzi wspomagających prace przygotowawcze i rozwojowe,
- w obszarze zarządzania kadrami – korzystanie z metod pozwalających na prawidłowy dobór pracowników, ich rozwój, kształtowanie ścieżek rozwoju zawodowego, motywowanie, ocenianie itp. Działania nakierowane są przede wszystkim na aktywizację pracowników, bowiem oni właśnie są jednym z ważniejszych strategicznych zasobów firmy

### **1.1. Podstawowe metody i narzędzia zarządzania w przedsiębiorstwach produkcyjnych**

Narzędziami, które stają się powoli standardami w zarządzaniu jakością, są m.in.:

- system kompleksowego zarządzania jakością (Total Quality Management) z odpowiednimi szczegółowymi metodami,
- systemy klasy MRP, tj. MRP I (Material Requirements Planning) – planowanie potrzeb materiałowych, MRP II (Manufacturing Resource Planning) – planowanie zasobów przedsiębiorstwa, MRP III /ERP (Enterprise Resource Planning) – planowanie zasobów przedsiębiorstwa,
- system CRM (Customer Relationship Management), tj. zarządzanie relacjami z klientem (efektywna obsługa klienta), EDI (Electronic Data Interchange) – elektroniczna wymiana informacji, QR (Quick Respons) – metoda maksymalizacji efektywności łańcucha dostaw przez ograniczenie nakładów na zapasy, zarządzanie popytem, zarządzanie podażą, VMI (Vendor Managed Inventory) – co oznacza optymalizację funkcjonowania łańcucha dostaw w wyniku zarządzania zapasami producenta lub dystrybutora przez dostawcę, który decyduje o czasie i wielkości dostawy.

Na możliwość wykorzystania zarówno tych metod, jak i systemów klasy MRP wpłynął w znaczący sposób rozwój systemów informatycznych. Ułatwiło to i przyspieszyło przepływ informacji, która jest podstawą prawidłowej i efektywnej współpracy w łańcuchu dostawcy – producent – klienci.

- systemy komputerowego wspomaganie – konstruowania (CAD) – Computer Aided Design, projektowania procesów produkcyjnych (CAP) – Computer Aided Planning, prac inżynierskich (CAE) – Computer Aided Engineering, inne [7].

W dzisiejszych czasach można wyróżnić kilka podstawowych metod, które wspomagają zarządzanie systemami produkcyjnymi. Można do nich zaliczyć:

- Lean production – jest ona jedną z najbardziej znanych koncepcji zarządzania sferą produkcji,
- System 5S – grupa technik, celem których jest tworzenie i utrzymywanie dobrze zorganizowanego, czystego i wysokiej jakości stanowiska pracy. Ma ona jednocześnie mobilizować do ciągłego ulepszania [17]. Utrzymanie bądź podnoszenie standardu na miejscu pracy (w środowisku pracy) możliwe jest dzięki przejściu

pięciu następujących kroków: Sortowanie (sort) – usunięcie co niepotrzebne, pozostawienie co niezbędne, Systematyka (systemize) – uporządkowanie rzeczy, aby były łatwe do znalezienia, użycia, Sprzątanie (shine and sweet) – wymusza utrzymywanie wszystkich elementów na stanowisku w dobrym stanie, poukładanych, czystych, gotowych do użycia, Standaryzacja (standarise) – ma na celu wypracowanie procedury postępowania, o standardowym charakterze, dla wcześniejszych trzech kroków, aby w przyszłości realizować wszystko we właściwy sposób, Samodyscyplina (selfdiscipline) – dążenie do utrzymania wprowadzonych rozwiązań nie zapominając o ciągłym usprawnianiu, podnoszeniu standardów, a jednocześnie szkoleniu się i promowaniu działań 5S w przedsiębiorstwie [17];

- FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) – analiza przyczyn i skutków wad. Metoda ta i jej odmiany mają być narzędziem projektantów, którzy dążą do minimalizacji strat wynikających z niskiej jakości produktów. Celem tej analizy jest znalezienie potencjalnych skutków i przyczyn błędów popełnianych w czasie projektowania i wyeliminowanie ich zanim jeszcze powstanie gotowy wyrób. Jest to więc metoda przydatna w działalności badawczej, projektowej i rozwojowej.
- SMED (Single minute exchange of die) – metoda pozwalająca na redukowanie (minimalizację) czasów przestawień maszyn i urządzeń, a tym samym maksymalizację czasu efektywnego ich wykorzystania. Prowadzi to do redukcji kosztów przez eliminowanie robót w toku [1];
- Kanban – metoda wspomagająca sterowanie przebiegiem procesu produkcyjnego, wykorzystująca tzw. ssanie, czyli produkowanie określonej ilości produktów akurat na czas, tj. zgodnie ze zgłaszanym zapotrzebowaniem. Pozwala na radykalne zminimalizowanie wielkości zapasów, a tym samym kosztów produkcji [12];
- TPM (Total Productive Maintenance) – jest jednym z systemów filozofii kaizen. W dzisiejszych czasach coraz więcej firm, zarówno w Japonii, jak i poza nią, praktykuje TPM. Podczas gdy TQM kładzie nacisk na udoskonalenie zarządzania i poprawę jakości, TPM skupia się na poprawieniu jakości parku maszynowego. TPM stara się zmaksymalizować efektywność sprzętu poprzez całościowy system działań zapobiegawczych, przedłużający żywotność urządzeń. Tak jak TQM angażuje wszystkie osoby w firmie, TPM angażuje wszystkich w hali produkcyjnej. Metodologię 5S, czyli kolejne kroki właściwego utrzymania stanowiska pracy można postrzegać jako wstęp do TPM;
- Kaizen – metoda oznaczająca ciągle ulepszanie, poprawianie czy doskonalenie wszelkich działań. Filozofia Kaizen skupia uwagę na ludziach, którzy powinni stale podnosić swoje umiejętności, rozwijać zdolności, aby sprostać wymogom dzisiejszego konkurencyjnego świata, tj. niskim kosztom, wysokiej jakości, krótkiemu czasowi realizacji zamówienia itp. Filozofia zawarta w metodzie Kaizen traktowana jest jako źródło sukcesu gospodarczego, pozwalające uzyskiwać przewagę konkurencyjną nawet na globalnych konkurencyjnych rynkach. Wynika to z faktu, że filozofia zawarta w tej metodzie traktowana jest jako nadrzędna w japońskim modelu zarządzania, a proces doskonalenia nie wymaga dużych nakładów finansowych czy inwestycyjnych [12]. W kontekście zarządzania kaizen ma dwie

główne funkcje do spełnienia – utrzymanie i doskonalenie standardów. Utrzymanie dotyczy zachowania obecnego poziomu technologii, zarządzania oraz standardów operacyjnych, a także podtrzymywania ich tak, by każdy mógł przestrzegać właściwych standardowych procedur operacyjnych (SOP). Doskonalenie z kolei odnosi się do działań mających na celu ulepszenie obecnych standardów.

- Muda – metoda zakładająca eliminowanie wszelkich strat. Traktowana jest jak klucz do procesu ciągłej poprawy w realizowanych procesach. Przyjmując, że straty są przeciwieństwem wartości, należy dążyć do wykonywania jedynie tego, co jest niezbędne i konieczne i to w systemie dokładnie na czas, zachowując przy tym odpowiednią, tzn. wysoką jakość [17].
- Six Sigma – metoda umożliwiająca radykalną poprawę wyników finansowych firmy, rentowności, wzrostu udziału w rynku, a przez to i konkurencyjności, dzięki planowaniu i kontrolowaniu przebiegu pracy w sposób, który pozwala zminimalizować zużycie surowców i materiałów, powstawanie odpadów, a jednocześnie prowadzi do większej satysfakcji klientów. Zastosowanie tej metody pozwala na ograniczenie liczby błędów we wszystkich sferach działalności przedsiębiorstwa, gdyż zakłada ona takie metody realizowania procesów, które wykluczają możliwość powstawania wad [17].
- SPC (Statistical Process Control) – statystyczna ocena przebiegów czasowych istotnego parametru w celu sterowania procesem, która ma umożliwić planowany przebieg i realizację produkcji [12].
- Hoshin – koncepcja zarządzania zorientowana na jakość. Jest metodą zarządzania strategicznego, pozwalającą uzyskiwać przewagę konkurencyjną przez wyprzedzające rozpoznawanie otoczenia przedsiębiorstwa i na tej podstawie określanie jego strategii rozwojowej. Ułatwia zrozumienie celów strategicznych przez wszystkich pracowników przedsiębiorstwa. W metodzie tej można wyróżnić cztery fazy postępowania: identyfikację linii kierunkowych; rozwinięcie tych linii (określenie niezbędnych środków, uzyskanie zgody na realizowanie przedsięwzięć); sterowanie wdrażaniem planów oraz okresowa kontrola osiągniętych wyników; diagnoza przebiegu wdrażania metody dokonywana przez naczelne kierownictwo [12].

## 1.2. Raport A3 w zakładzie Recaro Aircraft Seating

Raport A3 jest ustrukturyzowanym podejściem do rozwiązywania problemów i ciągłego doskonalenia, po raz pierwszy zastosowanym w Toyocie i zazwyczaj używanym przez praktyków lean manufacturing. Podejście to zazwyczaj wykorzystuje pojedynczy arkusz papieru formatu ISO A3, który jest źródłem jego nazwy - A3 odnosi się do rozmiaru papieru metrycznego, na którym sporządzany jest raport w Toyota Motor Company [18].

Raport A3 składa się z następujących elementów:

- określenie zespołu, moderatora, wprowadzenie daty oraz numeru analizy,
- tytuł - krótki opis problemu, podkreślający znaczenie dla organizacji i zastosowanych środków,
- opis problemu – słowne przedstawienie rozpatrywanego problemu,



- miejsce powstania problemu – zdefiniowanie gdzie znajduje się problem analiza przeprowadzona w celu określenia przyczyny (przyczyn) źródłowych,
- działania natychmiastowe (tylko jeżeli są konieczne) – wdrożenie działań które są wymagane natychmiast,
- wykres przyczynowo – skutkowy Ishikawy – analiza przeprowadzona w celu określenia przyczyny (przyczyn) źródłowych,
- identyfikowanie przyczyny źródłowej (5W metoda) – określenie źródła problemu zdefiniowanego w diagramie Ishikawy jako zagrożenie bezpośrednie,
- działania korekcyjne i prewencyjne – określenie zadań, osoby odpowiedzialnej z określonym terminem oraz efektem % jaki wpłynie na całokształt problemu mające na celu zapewnienie utrzymania korzyści płynących z rozwiązania,
- zakończenie: standaryzacja, przekazanie know-how, uznanie dla zespołu.

## 2. CHARAKTERYSTYKA PRZEDSIĘBIORSTWA RECARO

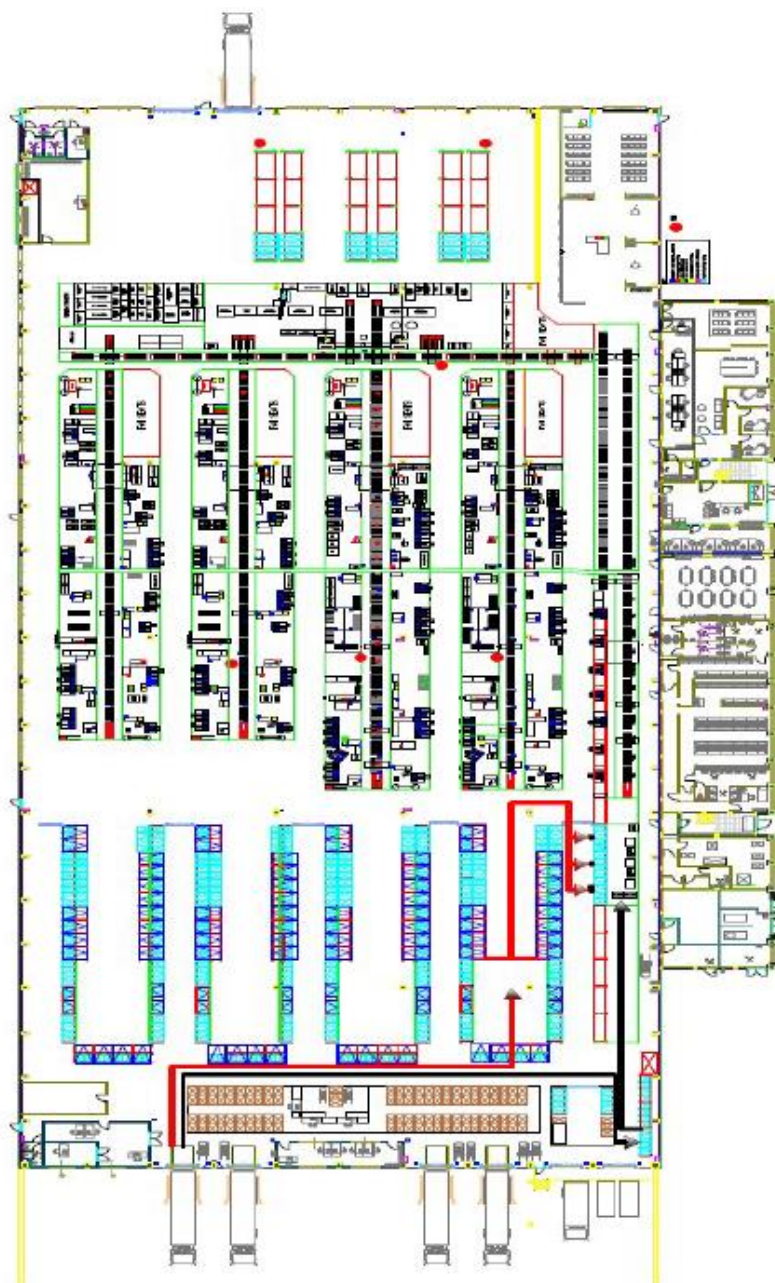
Recaro Aircraft Seating GmbH zalicza się do czołowych dostawców foteli pasażerskich dla lotnictwa cywilnego. Poprzez długoletnie doświadczenie i wysoki standard jakości produktów jest ważnym partnerem znanych producentów samolotów i spółek lotniczych w międzynarodowym lotnictwie cywilnym w obszarze Aircraft Interior.

Fotele lotnicze dzielą się na trzy rodzaje foteli, daleko, średnio oraz krótkodystansowe, a następnie na klasę: pierwszą, biznesową oraz ekonomiczną. Zakład produkcyjny w Świebodzinie specjalizuje się w produkcji foteli dla lotów krótkodystansowych w klasie ekonomicznej.

W oddziale Recaro Świebodzin, występuje 5 linii produkcyjnych, dwie z nich (linia 3 oraz 4) są podzielone na 19 modułów produkcyjnych, po których następuje moduł 20 związany z kontrolą jakości oraz nadaniem certyfikatu zdolności do użycia w lotnictwie. Linia produkcyjna nr 1 oraz 2 jest wydłużona o 8 modułów – wiąże się to z produkcją foteli typu CL3710, na których jest wykonanych więcej czynności jak i tworzenia podzespołów do montażu fotela. Linia produkcyjna nr 5 jest przeznaczona do produkcji foteli testowych (testy zderzeniowe, palności itd.) oraz małych i nielicznych zamówień. Układ przedsiębiorstwa przedstawia rysunek 1.

Każdy z modułów odpowiada za konkretne czynności związane z montażem podzespołów na fotelu, po którym następuje certyfikacja fotela. W zależności od typu fotela oraz oczekiwań klienta względem zamówienia można wyróżnić inną sekwencję modułów (przykładowo na module 6 dla foteli typu SL3510 występuje montaż podłokietników a dla foteli typu BL3530 jest to podgrupa IAT). Wiąże się to z nieustanną uniwर्सalizacją linii produkcyjnych pod różne zamówienia jak i główną ideologią dążącą do eliminowania marnotrawstwa, zbędnych ruchów czy przechowywań materiałów – JIT (Just in Time).

Mapowanie procesów produkcyjnych rozpoczyna dział przygotowania produkcji. Inżynier procesów ustala czy jest możliwe wykorzystanie wcześniejszych map procesów (czy nowy produkt jest zbliżony do wcześniej wytwarzanego) poprzez analizę rysunków technicznych jak i struktury materiałowej, rys 2.



Rys. 1. Układ przedsiębiorstwa Recaro Aircraft Seating w Świebodzinie [opr. własne]

The screenshot displays a CAD software interface with a hierarchical tree structure of a product model. The tree lists various components, including 'Laminacja obrotowa', 'Wieloletni', and 'Wieloletni', with their respective IDs and file names. A table on the right side of the interface provides a summary of the components, including their IDs, names, and file paths.

Problem	PM no.	ISBN	In change	Released No.	Name	News L&P	Address name
	10	25449262	00	30104965-31-212	Str TPL LH STD	Str TPL LH STD	Str TPL LH STD
	20	25449688	00	30104965-31-802	Str TPL LH STD	Str TPL LH STD	Str TPL LH STD
	30	25447213	00	30104965-31-311	Str TPL LH STD	Str TPL LH STD	Str TPL LH STD
	40	25447234	00	30104965-31-321	Str TPL LH STD	Str TPL LH STD	Str TPL LH STD
	50	25447215	00	30104965-31-331	Str TPL LH STD	Str TPL LH STD	Str TPL LH STD

Rys. 2. Struktura produktu

## 2.1. Program RPCU

RPCU (Recaro Proces Ciągłego Ulepszania) jest programem promującym dążenie do systematycznej poprawy funkcjonowania przedsiębiorstwa, są to działania polegające na usprawnieniu poprzez dokonywanie drobnych zmian i udoskonalień, szeroko rozumianego procesu produkcji przez co staje się on efektywniejszy oraz nadaje większe znaczenie optymalizacji zasobów pracy. Dotyczy zarówno produktu jak i procesów oraz jakości świadczonych usług. Wyznaje główną zasadę, iż żadne przedsiębiorstwo nie jest w stanie funkcjonować bez stałej troski o nowatorstwo i podnoszenie jakości produktu. Ważną rolę w procesie tworzenia RPCU odgrywają kierownicy poszczególnych działów – ich zadaniem jest motywowanie swoich podwładnych i budzenie świadomości, że warto angażować się w rozwój zakładu, że ich wysiłki zostaną odpowiednio wynagrodzone.

Wniosek RPCU ma miejsce jeżeli uzyska się poprawę w stosunku do stanu obecnego, wdrożenie jest możliwe do realizacji pod względem gospodarczym i idea wniosku nie byłaby wdrożona, gdyby wnioskodawca jej nie zgłosił. Za rentowne uznaje się również zwiększenie bezpieczeństwa, ochronę zdrowia i środowiska naturalnego. Wnioskiem racjonalizatorskim jest każda innowacja, dzięki której:

wzrasta wydajność produkcji,

- uproszczone lub ułatwione zostają metody pracy lub procedury pracy,
- ulepszona zostanie jakość produktów i środków pracy, a defekty i złom z produkcji seryjnej zostają zredukowane,
- obniżone zostaną koszty dzięki oszczędności materiału, energii oraz czasu pracy,
- poprawiony zostanie ogólny porządek i bezpieczeństwo,
- uproszczona zostanie organizacja zakładu.

Głównym celem programu jest wykorzystanie potencjału pracowników do ciągłego ulepszania produktów i procesu, troska o poprawę warunków pracy dla wszystkich pracowników pod kątem optymalizacji procesów co z kolei ma bezpośredni wpływ na jakość produktu. Nacisk na poprawę funkcjonowania wszystkich działów poprzez małe ale systematyczne kroki. Głównym obszarem działalności jest produkcja i dostawy (wykorzystanie maszyn, procesy pracy, jakość produktów i procesów, organizacja miejsca pracy, transport, materiał) jak i organizacja pracy (przepływ informacji, metody i narzędzia pracy, komunikacja, sytuacja przestrzenna) dbając o bezpieczeństwo pracy, porządek, czystość jak i ochronę środowiska naturalnego

## 2.2. Struktura uczestników programu RPCU

W skład uczestników programu RPCU wchodzi:

- wnioskodawca Osoba przedstawiająca problem, wyjaśnia treść pomysłu i proponowane rozwiązanie, bądź usprawnienie pewnego obszaru w przedsiębiorstwie;
- Koordynator / Opiekun. Osoba konsultująca się z wnioskodawcą, wyjaśnia ewentualnie niedomówienia, pomaga przy tworzeniu wniosków, informuje pracowników o stopniu realizacji jak i również informuje o przyczynie odrzucenia wniosku. Prowadzi bazę danych wniosków, organizuje cotygodniowe spotkania Gremium jak i prezentuje wnioski. Również przekazuje wnioski do działów biorą-

cych udział w procesie realizacji zaakceptowanych pomysłów jak i czynnie wspiera RPCU;

- Grupa RPCU. Grupa osób opiniujących wnioski RPCU, decydujących czy wniosek odpowiada idei ciągłego ulepszania. Wniosek może zostać zaopiniowany pozytywnie bądź negatywnie. Jeżeli są wątpliwości w trakcie podejmowania decyzji, wówczas wniosek zostaje przekazany do dalszej analizy osobie, która jest przedstawicielem obszaru, którego wniosek dotyczy.

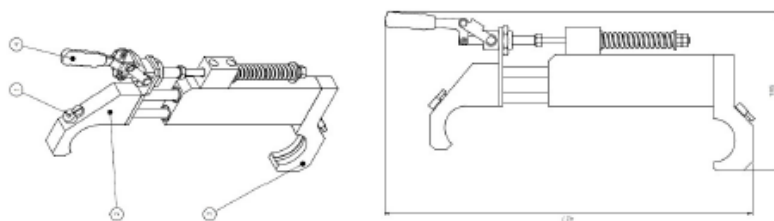
Wniosek racjonalizatorski jest oceniany na spotkaniu Gremium, gdzie jest przedstawiany przez koordynatora RPCU. Następuje omówienie wniosku i głosowanie czy proponowane rozwiązanie jest wnioskiem racjonalizatorskim. Gremium jest zobowiązane do oceny wniosku w ciągu 21 od daty wpłynięcia. W uzasadnionych przypadkach czas ten może zostać wydłużony. Opiniujący dział jest zobowiązany określić czas potrzebny do oceny danego wniosku. Grupa RPCU sprawdza, czy pomysły o tej samej treści były już opracowane lub są w trakcie opracowania. Jeżeli tak jest, to grupa RPCU odrzuca dany pomysł. W przypadku gdy pomysł nie może zostać przyjęty do realizacji zgodnie z propozycją rozwiązania problemu, pomysłodawca zostaje poinformowany przez przełożonego bądź Grupę RPCU o powodach odrzucenia wniosku lub w innej formie rozwiązania zgłoszonego problemu.

### 2.3. Przykładowy wniosek racjonalizatorski

pracownik linii montażowej opisał problem związany z przewiercaniem rury zewnętrznej: „Kłopotliwe wiercenie rur wewnętrznych, zaokrąglona krawędź utrudnia prowadzenie wiertła”. Jako propozycję rozwiązania umieścił dość „oszczędny” rysunek oraz krótki opis: „Urządzenie do zapinania z tulejką wiertniczą”, rys. 3). Decyzją gremium RPCU było zaakceptowanie wniosku oraz powierzenie go działowi przygotowania produkcji do realizacji

Próbę rozwiązania problemu podjęto wg. metody DMAIC, krok 1 czyli „Zdefiniuj”, Krok 2 „Zmierzyć” należało zweryfikować w innych projektach foteli (np. CL3710 lub BL3520) czy sposób mocowania znajdzie również zastosowanie lub czy przyrząd będzie dedykowany tylko do tego projektu. Rozwiązanie musi pozostać maksymalnie uproszczone w myśl zasady „SMED” o „skracaniu przezbrajaniu maszyn”, musiało być na tyle łatwe w operowaniu aby nie wydłużyć czasu operacji pracownika jak i nie uszkodzić powierzchni rury zewnętrznej gdyż jest ona bardzo widoczna przez klienta linii lotniczych jak i zarysowanie powierzchni gotowego produktu może spowodować reklamację od linii lotniczych. Krok 3 „Zanalizuj” powstał pierwszy prototyp narzędzia, rys. 3). Wg. wytycznych ze współpracą działu przygotowania produkcji podjęła się firma XYZ dostarczając na próbę egzemplarz.

Narzędzie składa się z uchwytów wyprofilowanych na rurę zewnętrzną, rys. 4, tak by bezpośrednio przylegała uniemożliwiając przesuwanie się narzędzia gdy jest ono zabezpieczone, wraz z „podziałką” ukazującą środek tulejki wiertniczej do odmierzenia odległości otworu, który należy wykonać dla nitu, określonego na rysunku technicznym stelaża fotela. Uchwyty są zrobione z poliamidu co skutecznie ogranicza ryzyko porysowania powierzchni.



Rys. 3. Narzędzie – przyrząd do wiercenia



Rys.4. Narzędzie RAP 60

Krokiem 5 „Kontrola” Narzędzie zostało zaopatrzone w tabliczkę znamionową, informującą o numerze grupy narzędzi jak i jego własnym numerze oraz naklejce informującej o kolejnym przeglądzie narzędzia dokonywanym przez dział utrzymania ruchu.

Numery zawarte są w kolejnych krokach pracy, dzięki czemu pracownik otwierając zlecenie na ekranie komputera widzi konieczność użycia narzędzi z grupy narzędziowej i potwierdza wykonanie czynności zgodnie z nim.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Główną ideą wniosków racjonalizatorskich jest wzbudzenie pomysłowości pracowników produkcyjnych, gdyż w przedsiębiorczości ludzi drzemie potencjał, który należycie wykorzystany potrafi przynieść niewymierne korzyści, zarówno dla nich samych, w postaci ułatwienia codziennej pracy, określeniu standaryzacji pracy dla współpracowników, jak i doskonaleniu procesu produkcyjnego. Należy pamiętać o indywidualnym podejściu do każdego z wniosków, niekiedy zasób wiedzy operatora linii montażowej nie pozwala na całkowite zobrazowanie problemu, czy rozwiązania i wymagany jest kontakt osoby z wykształceniem inżynierskim, aby wspomóc przy tworzeniu opracowania.

Przypadek wniosku o numerze 3731, pozwolił również skorzystać z różnych narzędzi kaizenowych, w wewnętrznej strukturze stworzono również analizę burzy mózgów posiłkując się narzędziem „5why?”:

Ułatwia to przedstawienie natury problemu oraz naświetla sytuację, w której znajduje się operator.

Kolejnym narzędziem kaizenowym była analiza DMAIC (Zdefiniuj, Zmierz, Zanalizuj, Udoskonal, Skontroluj), która w skuteczny i efektywny sposób pozwoliła na określenie podstawowych funkcji, jakie narzędzie musi spełnić, określić metodę i środowisko w jakim będzie pracować oraz wymaga kontrolę działu utrzymania ruchu, w postaci cyklicznych przeglądów.

Pozytywnym aspektem również okazała się analiza SMED, dzięki której czas wymagany na wykonanie czynności przez operatora uległ skróceniu, po odpowiednim ustawieniu narzędzi, jest w stanie wykonać kolejno wszystkie otwory pod nit, zamiast dotychczas zaznaczania ołówkiem odległości określonych na rysunku technicznym i próbie precyzyjnego przewiercenia, nie powodując przy tym zarysowania powierzchni elementu widocznego przez klienta linii lotniczych. Zarysowanie powierzchni elementu, jest potencjalnym źródłem ogniska korozji, dzięki czemu część nie może zostać zamontowana na gotowym wyrobie powodując przy tym generowanie strat materiału produkcyjnego.

## SPIS LITERATURY:

- [1] **Barnes D., Cuming M.**, *Strategiczne zarządzanie operacjami*, PRET S.A., Warszawa 1997.
- [2] **Bicheno J., Holweg M.**: *The Lean Toolbox. The Essential Guide to Lean Transformation* (4th edition). Buckingham: Production and Inventory Control, Systems and Industrial Engineering Books, 2009.
- [3] **Brożyńska M., Lis A., Szymczak M., Kowal K.**: *5xdlaczego. Pierwszy podręcznik metody*. Łódź: 2K Consulting, 2014.
- [4] **Ficoń K.**, *Procesy logistyczne w przedsiębiorstwie*, Gdynia 2001.
- [5] **Fiodorow A.** (2010): *Efektywna organizacja projektów w ramach metodyki Six Sigma*, „Zarządzanie jakością”, nr 3–4.

- 
- [6] **Grudzewski W.M., Hejduk I.K.** *Metody projektowania systemów zarządzania*, Difin, Warszawa 2004.
- [7] **Lichtarski J.**, *Podstawy nauki o przedsiębiorstwie*, Wrocław 2001..
- [8] **Grycuk A.**, *Kluczowe wskaźniki efektywności (KPI) jako narzędzie doskonalenia efektywności operacyjnej firm produkcyjnych zorientowanych na lean.* „Przegląd Organizacji”. 2/2010.
- [9] **Harris R., Harris C., Wilson E.**, *Doskonalenie przepływu materiałów*, Wrocław Center for Technology Transfer, Wrocław 2005.
- [10] **Karaszewski R.** (2009): *Istota przywództwa filaru Totalnego Zarządzania Jakością* „Problemy Jakości”, nr 1.
- [11] **Koziar B.**, *Warsztaty SMED jako najlepszy sposób redukcji czasu przezbrojenia maszyn i urządzeń*, Zarządzanie Jakością 2/2005 r.
- [12] **Kupczyk A., Korolewska-Mróż H., Czerwonka M.**, *Radykalne zmiany w firmie. Od reengineeringu do organizacji uczącej się*, INFOR, Warszawa 1998.
- [13] **Marchwiński Ch., Shook J., Schroeder A.**: *Leksykon Lean*. Ilustrowany słownik pojęć z zakresu Lean Management. Wrocław: Wydawnictwo Lean Enterprise Institute Polska, 2010.
- [14] *Maszyny, Technologie, Materiały – Technika Zagraniczna: Szybkie przezbrajanie*, 3/2009 r.
- [15] **Miller J., Wroblewski M., J.Villafuerte:** *Kaizen. Budowanie i utrzymanie kultury ciągłego doskonalenia*. Warszawa: MT Biznes, 2014.
- [16] **Ohno T.; foreword by Norman Bodek** (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*. Portland, Or: Productivity Press.
- [17] **Rother M., Harris R.**, *Tworzenie ciągłego przepływu*, Wrocław Center for Technology Transfer, Wrocław 2004.
- [18] **Sobek M., Durward K., Smalley A.** (2008). *Understanding A3 thinking: a critical component of Toyota's PDCA management system*. A Productivity Press book. Boca Raton, FL: CRC Press/Productivity Press.





# WPŁYW OSIADANIA POWŁOK MALARSKICH NA JAKOŚĆ POŁĄCZEŃ ŚRUBOWYCH

## 1. WPROWADZENIE

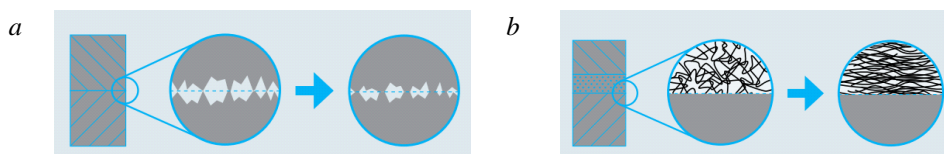
Połączenia śrubowe są jednym z najczęściej projektowanych połączeń rozłącznych stosowanych przede wszystkim do wykonywania styków elementów lub ich części podczas montażu. Asortyment elementów gwintowanych, znacznie się poszerzył umożliwiając dobór odpowiedniego połączenia, do większości projektowanych konstrukcji. Co raz szerzej stosowane są tzw. śruby sprężające, które wykonane są ze stali o wysokiej wytrzymałości [1,2]. Złącze śrubowe powinno być tak zaprojektowane aby po jego skręceniu można było uzyskać napięcie wstępne zdolne wywołać siłę zacisku zapewniającą najlepszą jakość połączenia. Funkcją śruby jest wytworzyć taką siłę zacisku w złączu, aby przy oddziaływaniu sił zewnętrznych nie doszło do rozdzielenia się lub wzajemnego przesuwania łączonych elementów. Jeśli śruba jest zbyt duża, to z powodu jej oddziaływania na materiał łączony i jego podatności na osiadanie, relaksację czy pełzanie, naprężenie wstępne śruby będzie stopniowo maleć. Może to w skrajnym przypadku doprowadzić do poluzowania się śruby i jej uszkodzenia [3].

Aktualne badania naukowe oraz tzw. „dobre praktyki” firm produkujących technologicznie, zwracają uwagę na uwzględnienie w obliczeniach aspektu luzowania połączenia spowodowanego zjawiskiem osiadania powłok lakierniczych i antykorozyjnych, poszerzając tym samym znane pojęcie osiadania materiałowego ujętego dotychczas w normie VDI 2230 [4]. Takie podejście wskazuje nowe światło na ścieżkę projektowania połączenia, wykazując że już na tym etapie należy spojrzeć na połączenie gwintowe pod dodatkowym kątem zminimalizowania grubości powłok antykorozyjnych, zoptymalizowania systemu malarskiego (jeżeli występuje) oraz doboru specjalnych rozwiązań śrub, nakrętek i podkładek neutralizujących to zjawisko.

Założenia metodologiczno-badawcze pracy obejmują analizę trzech wybranych połączeń śrubowych mechanizmów mocujących "drzwi maszynisty" do konstrukcji pojazdu szynowego pod względem ich najlepszej jakości. Ze względu na wymóg ujęcia w obliczeniach grubości powłok antykorozyjnych i ich osiadania w pracy podjęto próbę zbadania wpływu osiadania powłok na współczynnik bezpieczeństwa połączenia.

Osadzanie w definicji określane jest jako zmiana struktury powierzchni materiału, podczas wywieranego na powierzchnię nacisku, poprzez łączenie ze sobą materiałów – rys.1a. Definicja ta dotyczy osiadania materiałów i niestety nie bierze pod uwagę osiadania powłok lakierniczych i antykorozyjnych. Do tej pory temat ten nie został opisany i

ujęty w normach obliczeniowych. W taki sam sposób jak osiadają materiały, ulegają także osiadaniu powłoki, standardowo „dobre praktyki” przyjmują osiadanie 10-20% grubości powłoki. Zmiany te występują z reguły w pierwszej godzinie od skręcenia połączenia śrubowego.



Rys. 1. Schemat zjawiska: a) osadzania, b) relaksacji. [17]

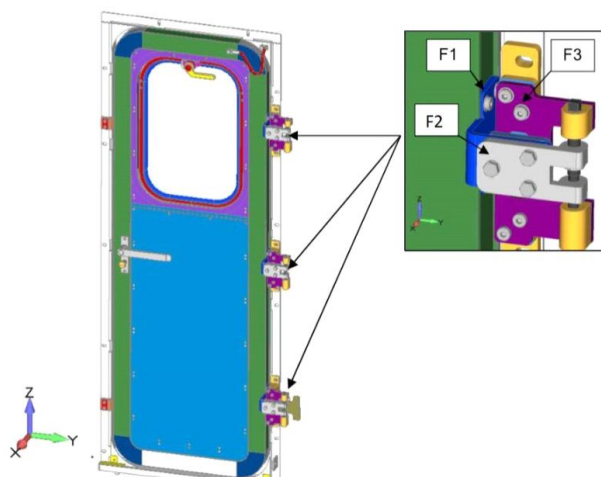
Wiele publikacji i badań wskazuje na fakt, iż prawidłowo wykonane połączenie śrubowe powinno być w pierwszej kolejności dokręcone z odpowiednim momentem, następnie pozostawione i dokręcone ponownie po kilku godzinach, aby po wstępnym osiadananiu powłok nie stracić odpowiedniego sprężenia połączenia. Przy projektowaniu połączeń wymagających zachowania odpowiednich właściwości antykorozyjnych oraz nośności połączenia przez długi czas należy zwrócić szczególną uwagę na uwzględnienie niekorzystnych warunków obciążeń dynamicznych oraz wibracji, które mają znaczący wpływ na wielkość osiadania [6].

Relaksacja połączenia – rys.1b wynika z właściwości danego materiału, niektóre materiały takie jak stale lekkie, kompozyty, polimery stają się z czasem bardziej zwarte co powoduje straty napięcia wstępnego [6].

## 2. PRZEDMIOT BADAŃ

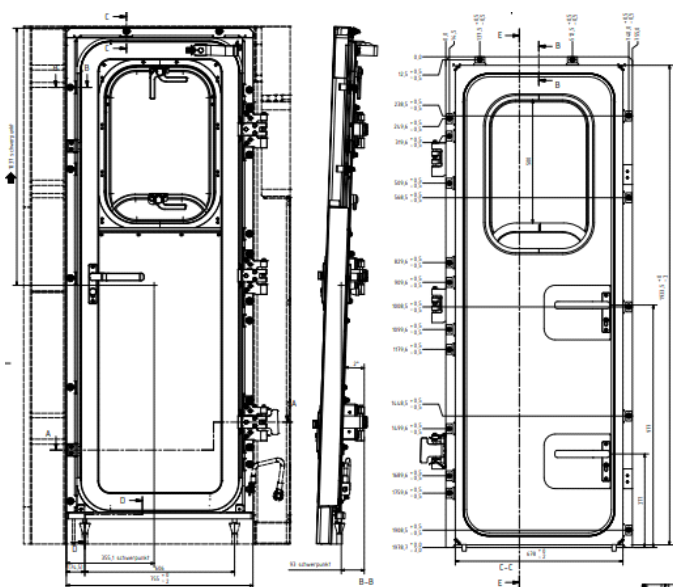
Przedmiotem badań jest konstrukcja drzwi maszynisty do pojazdu szynowego, w której zgodnie z normą DIN 25201 przeanalizowano i wyznaczono klasy poszczególnych połączeń gwintowanych. Wytypowano trzy połączenia w klasie M (Medium), które poddano obliczeniom zgodnym z normą VDI 2230. Na rysunku 2 przedstawiono widok izometryczny drzwi ze wskazaniem i opisem rozpatrywanych połączeń F1, F2 i F3 [6].

Połączenia zostały zaprojektowane spełniając obowiązujące normy oraz specyfikację techniczną klienta, biorąc pod uwagę technologiczność wykonania oraz możliwości produkcyjne. Dodatkowymi notyfikacjami, były wymogi klienta końcowego, użytkownika pojazdu, który bazując na własnych „dobrych praktykach” wyspecyfikował dodatkowe wymagania jak na przykład *całkowity zakaz stosowania z konstrukcji podkładek sprężystych DIN 127B oraz nakrętek samohamownych niebieskich DIN 985*. Miejsce oraz warunki projektowania były ograniczone także możliwościami montażowymi na pojeździe oraz zweryfikowanym otoczeniem kabiny maszynisty [7].



Rys. 2. Widok izometryczny, strona wewnętrzna rozpatrywanych drzwi maszynisty, wskazane połączenia F1, F2, F3 [7, 8]

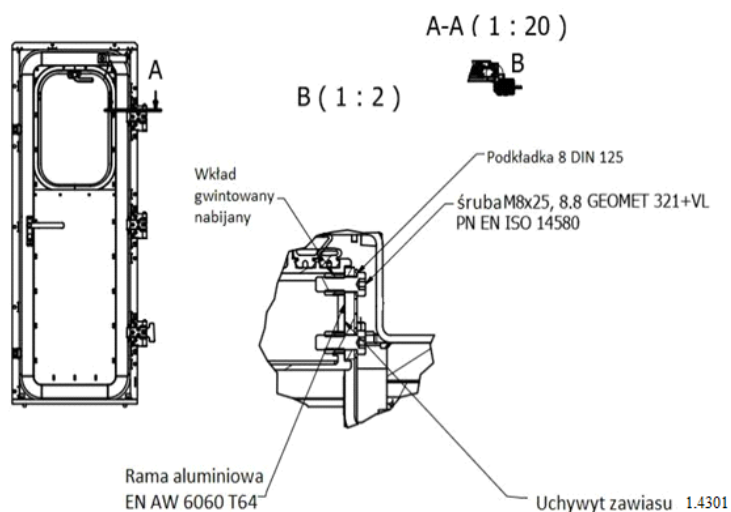
Uchwyt zawiasu, środkowy, dolny i górny wykonane są z tego samego materiału, różnią się jedynie długością. Różnica między poszczególnymi uchwytami, wynika z pochylenia drzwi. Po zamontowaniu drzwi wraz z ościeżnicą są one pochylone pod kątem 3 stopni natomiast oś zawiasu jest zaprojektowana w taki sposób aby pozostała prosta – rys.3



Rys. 3. Widok zamontowanych drzwi [7, 8]

Zaprojektowana geometria otwarcia, niweluje możliwość "wpadania" drzwi po otwarciu oraz nieszczelności płata drzwiowego. Dodatkowym atutem jest równoległość drzwi po otwarciu w oparciu względem podłogi.

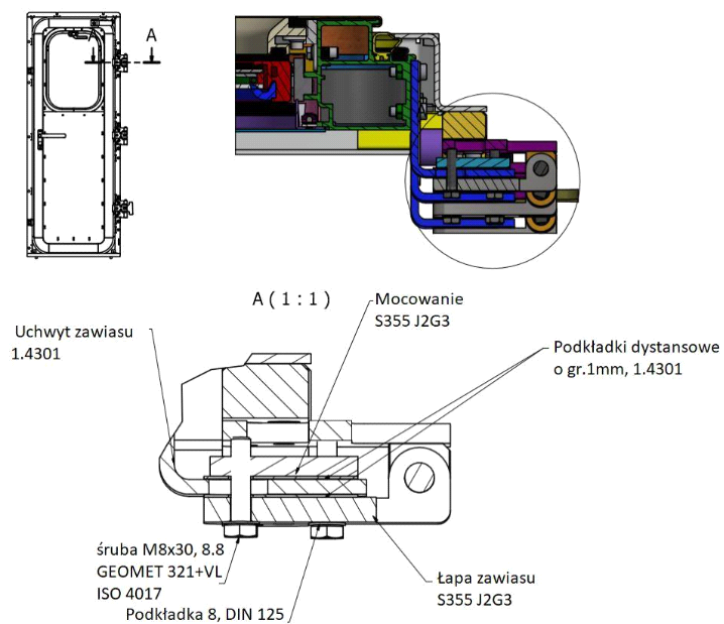
Połączenie F1 jest połączeniem stałym nie podlegającym regulacji. Podczas produkcji uchwyty zostają dokręcone odpowiednim momentem i zalakowane. Każdy z uchwytów montowany jest za pomocą czterech śrub M8. Uchwyty wykonane są ze stali nierdzewnej 1.4301. Budowę połączenia F1 przedstawiono na rysunku 4.



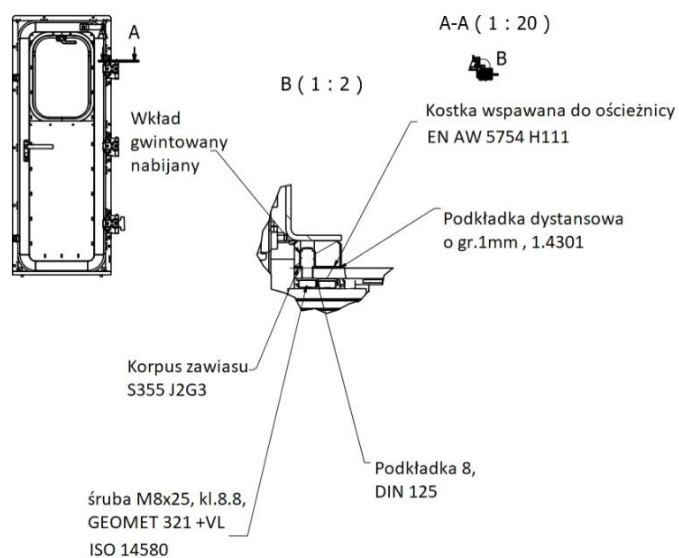
Rys. 4. Budowa połączenia F1 [7, 8]

Połączenie F2 jest połączeniem między uchwytem zawiasu wykonanym ze stali nierdzewnej a łapą zawiasu oraz mocowaniem wykonanymi ze stali S355. Pomiędzy podanym elementami zastosowane zostały dodatkowe podkładki o grubości 1mm wykonane ze stali nierdzewnej. W połączeniu zostały zastosowane trzy śruby w rozmiarze M8. Połączenie to jest dodatkowo regulowane. W uchwycie zawiasu wykonane są „fasolki” umożliwiające regulacje płata drzwiowego, w osi Y (pravo, lewo). Połączenie to także umożliwia regulacje w osi X, za pomocą możliwości wsunięcia dodatkowych podkładek nasuwnych, umożliwiających dociśnięcie płata drzwiowego do ościeżnicy, zapewniając lepszą szczelność. Drzwi poddawane są regulacji po montażu na pojeździe. Regulacja została tak zaprojektowana aby zniwelować, tolerancje wynikające z procesu produkcji płata drzwiowego oraz pojazdu [7, 8]. Budowę połączenia F2 przedstawiono na rysunku 5.

Połączenie F3, jest połączeniem stałym, za pomocą śrub M8 przykręcany jest korpus zawiasu ze stali S355 do aluminiowej kostki wspawanej do ościeżnicy. Połączenie to jest połączeniem stałym nie podlegającym regulacji. Podczas produkcji uchwyty zostają dokręcone odpowiednim momentem i zalakowane [7, 8]. Budowę połączenia F3 przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 5. Budowa połączenia F2 [7, 8]



Rys. 6. Budowa połączenia F3 [7, 8]

W opisanych drzwiach zewnętrznych maszynisty system malarski przyjęty został zgodnie ze specyfikacją pojazdu, do każdego z elementów, została wykonana dokumentacja techniczna oraz technologiczna. System malarski - malowanie na mokro części widocznych.

System czterowarstwowy, najważniejsze do obliczeń dane to grubość, podkładu oraz pełnego systemu malarskiego;

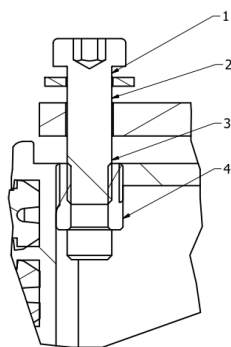
- podkład o grubość od 40 do 60  $\mu\text{m}$ ,
- pełen system malarski od 120 do 230  $\mu\text{m}$ ,

Tolerancja na malowanie na mokro pozostawia tak dużą tolerancję ze względu na to, że jest to że nie jest to proces poddany automatyzacji a proces malowania ręcznego [7].

### 3. OBLICZENIA OSIADANIA POWŁOK STAN PIERWOTNY

#### - Obliczenie osiadania powłok dla połączenia F1

Do obliczeń przyjęto że uchwyt zawiasu oraz rama aluminiowa są malowane pełnym systemem lakierniczym. Rysunek 7 przedstawia przekrój połączenia F1, na którym oznaczono i ponumerowano ilość osiadanych warstw antykorozyjnych lub materiałowych.



Rys. 7. Przekrój połączenia F1 z oznaczeniem warstw: 1- osiadania tła śruby na powierzchni podkładki; 2- osiadania podkładki na powierzchni uchwytu zawiasu; 3- osiadania uchwytu zawiasu na ramę aluminiową; 4- osiadania wkładu gwintowanego. [8]

Podczas obliczeń zawsze przyjmujemy większą wartość osiadania. W tym przypadku element jest malowany pełnym systemem malarskim od 120-230  $\mu\text{m}$ , i przyjmowana jest wartość osiadania systemu malarskiego a nie materiałowa - tabela 1.

Kolejne tabele przedstawiają wyniki kolejnych obliczeń osiadania powłok przy założeniu że opis Uwaga oznacza:

- osiadanie materiałowe - wartości osiadania materiałów zgodnie z VDI
- osiadanie powłoki malarskiej - jako 20% maksymalnej grubości powłoki.

Tab. 1. Osiadanie materiałowe i powłok F1

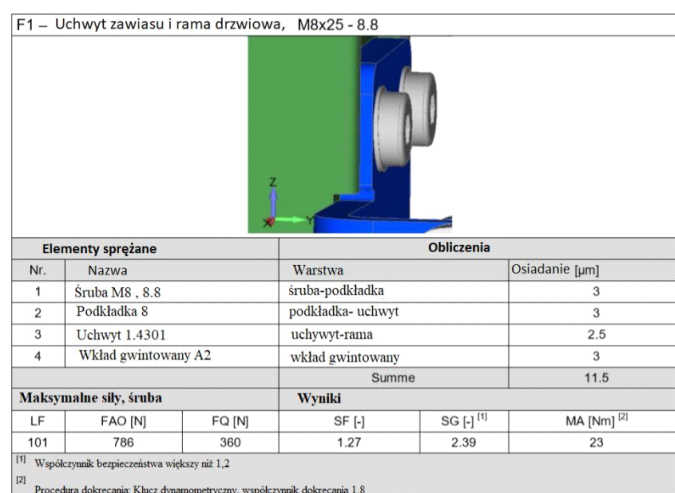
OSIADANIE POWŁOK F1			
Warstwa	Opis	Osiadanie	UWAGI
1	Śruba M8, 8.8	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
2	Podkładka 8	46 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
3	Uchwyt zawiasu 1.4301	46 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie powłoki malarskiej
4	Wkład gwintowany A2	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
SUMA		101 [ $\mu\text{m}$ ]	

W tabeli 2 zostało przedstawione osiadanie powłok, materiałów wg VDI, bez przyjmowania zjawiska osiadania systemu lakierniczego. Przyjęte dane mówiące o tym że uchwyt zawiasu wykonany z stali nierdzewnej nie został pokryty systemem malarskim.

Tab.2. Osiadanie materiałowe F1

OSIADANIE POWŁOK F1			
Warstwa	Opis	Osiadanie	UWAGI
1	Śruba M8, 8.8	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
2	Podkładka 8	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
3	Uchwyt zawiasu 1.4301	2,5 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
4	Wkład gwintowany A2	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
SUMA		11,5 [ $\mu\text{m}$ ]	

Na rysunku 8 przedstawiono wyniki obliczeń MES wraz z wizualizacją połączenia F1 dla tabeli 2. Obliczenia MES zostały wykonane zgodnie z wyznaczonymi w specyfikacji klienta obciążeniami w poszczególnych osiach [7, 8].

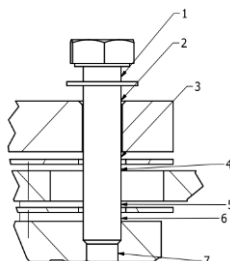


Rys. 8. Obliczenia MES F1, dla osiadania materiałowego [16]



Przedstawione w dalszej części pracy rysunki oraz tabele przedstawiają analogiczne opracowanie wyników obliczeń dla połączeń F2 i F3.

- Obliczenie osiadania powłok dla połączenia F2



Rys. 9. Przekrój połączenia F2 z oznaczeniem warstw: 1- osiadania łba śruby na powierzchni podkładki; 2- osiadanie podkładki na powierzchni łapa zawiasu; 3- osiadanie łapy zawiasu na powierzchni podkładki dystansowej; 4- osiadanie podkładki dystansowej na powierzchni uchwyty zawiasu; 5- osiadanie uchwyty zawiasu na powierzchni podkładki dystansowej; 6- osiadanie podkładki dystansowej na mocowanie; 7- osiadanie wkładu gwintowanego. [8]

Tab. 3. Osiadanie materiałowe i powłok F2

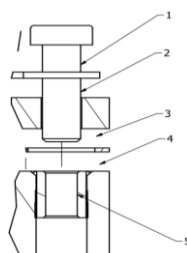
OSIADANIE POWŁOK F2			
Warstwa	Opis	Osiadanie	UWAGI
1	Śruba M8, 8.8	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
2	Podkładka 8	46 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
3	Łapa zawiasu S355	46 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie powłoki malarskiej
4	Podkładka 1#, 1.4301	46 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie powłoki malarskiej
5	Uchwyt 1.4301	46 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie powłoki malarskiej
6	Podkładka 1#, 1.4301	46 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie powłoki malarskiej
7	Wkład gwintowany A2	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
SUMA		236 [ $\mu\text{m}$ ]	

Tab. 4. Osiadanie materiałowe F2

OSIADANIE POWŁOK F2			
Warstwa	Opis	Osiadanie	UWAGI
1	Śruba M8, 8.8	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
2	Podkładka 8	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
3	Łapa zawiasu S355	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
4	Podkładka 1#, 1.4301	2,5 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
5	Uchwyt 1.4301	2,5 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
6	Podkładka 1#, 1.4301	2,5 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe

7	Wkład gwintowany A2	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
<b>SUMA</b>		<b>19,5 [ <math>\mu\text{m}</math> ]</b>	

**- Obliczenie osiadania powłok dla połączenia F3**



Rys. 10. Przekrój połączenia F3 z oznaczeniem warstw: 1- osiadanie łba śruby na powierzchni podkładki; 2- osiadanie podkładki na powierzchni łapa zawiasu; 3- osiadanie korpus zawiasu na podkładce dystansowej; 4- osiadanie podkładki dystansowej na powierzchni kostki aluminiowej; [15]

Tab.5. Osiadanie materiałowe i powłok F3

<b>OSIADANIE POWŁOK F3</b>			
<b>Warstwa</b>	<b>Opis</b>	<b>Osiadanie</b>	<b>UWAGI</b>
1	Śruba M8, 8.8	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
2	Podkładka 8	46 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
3	Korpus zawiasu S355	46 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie powłoki malarskiej
4	Podkładka 1#, 1.4301	2,5 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
	Wkład gwintowany A2	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
<b>SUMA</b>		<b>100,5 [ <math>\mu\text{m}</math> ]</b>	

W tabeli 6 zostało przedstawione osiadanie powłok, materiałów wg VDI, bez przyjmowania zjawiska osiadania systemu lakierniczego [12,14].

Tab.6. Osiadanie materiałowe F3

<b>OSIADANIE POWŁOK F3</b>			
<b>Warstwa</b>	<b>Opis</b>	<b>Osiadanie</b>	<b>UWAGI</b>
1	Śruba M8, 8.8	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
2	Podkładka 8	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
3	Korpus zawiasu S355	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
4	Podkładka 1#, 1.4301	2,5 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
5	Wkład gwintowany A2	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
<b>SUMA</b>		<b>14,5 [ <math>\mu\text{m}</math> ]</b>	

#### 4. OPTIMALIZACJA POŁĄCZEŃ F1,F2,F3 W ZAKRESIE OSIADANIA POWŁOK

Po zapoznaniu się z problemem osiadanie powłok antykorozyjnych, w przypadku omawianego projektu drzwi maszynisty zostały wprowadzone wszystkie możliwe zmiany. Specyfikacja pojazdu klienta zawierała zapis o konieczności, pomalowania wszystkich widocznych części, uniemożliwiało to w przypadku uchwytów połączenie F1 całkowitej rezygnacji z malowania. Zostały ograniczone grubości powłok lakierniczych oraz zastosowano specjalne podkładki RIP LOCK. Powłoki lakiernicze zostały ograniczone tylko w miejscach montażu, połączeń. Ograniczenie powierzchni lakierniczej od strony widocznej, zostało ograniczone do zastosowania pod łbem śruby.

Podkładki RIP LOCK umożliwiają wg normy DIN 25201 z 2004 roku niwelacje do 20  $\mu\text{m}$  osiadania. Zapis ten jest stosowany przez część z Instytutów Badawczych, z którymi mieliśmy możliwość współpracować, został on także przyjęty w „dobrych praktykach” firmy RAWAG. Interpretacja osiadania powłok antykorozyjnych jest nie ścisła i zostawia dużą dowolność interpretacji [6,7].

Firma NORD LOCK badająca to zjawisko, opisała następująco wpływ grubość systemu malarskiego na połączenie, utratę napięcia wstępnego. Łączna grubość farby nie powinna przekraczać 250 do 500 $\mu\text{m}$ . Pomimo funkcji specjalnych podkładek typu NORD LOCK należy rozważyć, efekt zmniejszenia naprężenia wstępnego poprzez naturalne osiadanie powłoki [7,9].

Badania dotyczące grubości powłoki lakierniczej wykazały że zjawiska osiadania przy zastosowaniu podkładek typu NORD LOCK wykazują [9]:

- w zakresie do 160 $\mu\text{m}$  naturalna utrata obciążenia wstępnego efektem osiadania jest ograniczona do 5-10% wartości początkowej,
- w zakresie 160-250 $\mu\text{m}$  utrata obciążenia wstępnego może osiągnąć 30% wstępnego obciążenia,

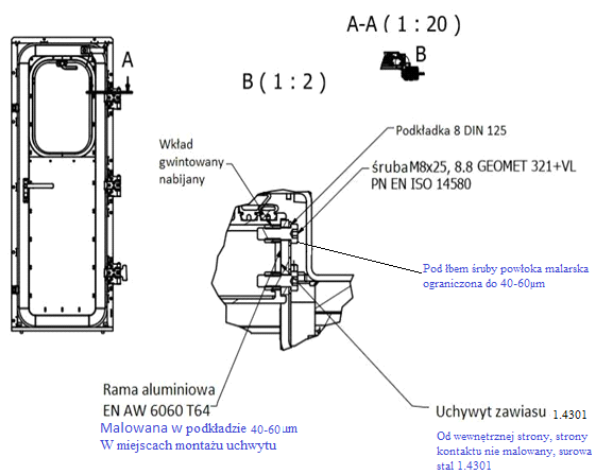
Uwaga: stratę tę można w znacznym stopniu skompensować (o połowę) za pomocą serii Nord-Lock X.

Powyżej 250 $\mu\text{m}$  utrata wstępnego obciążenia może być kompletna. Ale w badanym przypadku odnotowany został spadek napięcie wstępnego na poziomie 50% obciążenia wstępnego.

Ze względu na obawy, nadmiernej utraty nacisku połączenia, na wyprodukowanych już systemach drzwiowych została wprowadzona, akcja serwisowa polegająca na wymianie uchwytów, zawiasów na nowe nowo pomalowane, zmienione zostały także podkładki pod śruby zgodnie z nowymi wytycznymi, przeanalizowanymi i przeliczonymi. [7,8].

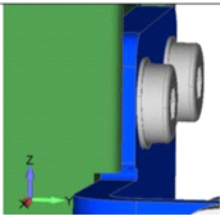
**Przedstawione w dalszej części pracy rysunki oraz tabele przedstawiają analogiczne opracowanie wyników obliczeń dla połączeń F1, F2 i F3 po procesie optymalizacji**

**- Obliczenie osiadania powłok dla połączenia F1 po optymalizacji**



Rys. 10. Wprowadzone zmiany warstwy w połączeniu F1 [14, 15]

F1 – Uchwyt zawiasu i rama drzwiowa, M8x25 - 8.8

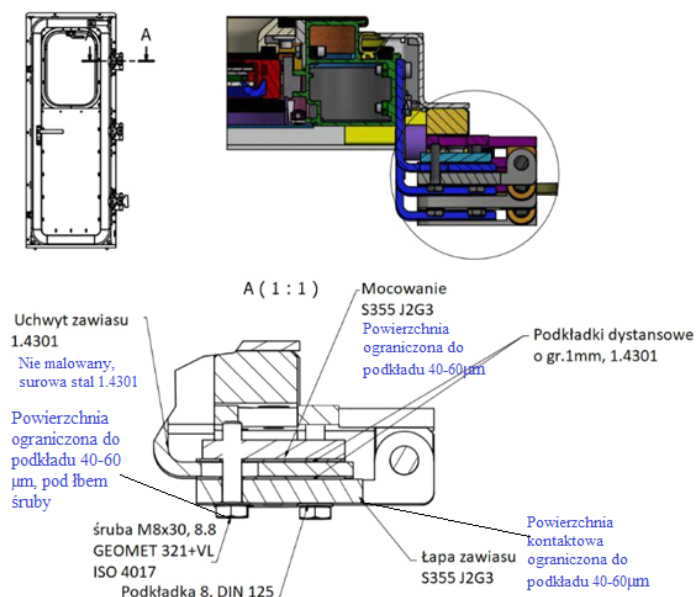


Elementy sprężane		Obliczenia			
Nr.	Nazwa	Warstwa	Osiadanie [µm]		
1	Śruba M8 , 8.8	śruba-podkładka	3		
2	Podkładka 8 RIP LOCK	podkładka- uchwyt	3		
3	Uchwyt 1.4301	uchwyt-rama	12		
4	Wkład gwintowany A2	wkład gwintowany	3		
		Podkładka sprężysta RIP LOCK <sup>[1]</sup>	-20		
		Summe	1		
Maksymalne siły, śruba			Wyniki		
LF	FAO [N]	FQ [N]	SF [-]	SG [-] <sup>[1]</sup>	MA [Nm] <sup>[2]</sup>
101	786	360	1,27	4,52	23

<sup>[1]</sup> Współczynnik bezpieczeństwa większy niż 1,2  
<sup>[2]</sup> Procedura dokrecania: Klucz dynamometryczny, współczynnik dokrecania 1.8  
<sup>[3]</sup> Użyte specjalistyczne podkładki wg VDI 2205; maksymalne zmniejszenie osiadania

Rys. 11. Wyniki obliczeń MES F1 dla osiadania materiałowego oraz powłok lakierniczych po optymalizacji

- Obliczenie osiadania powłok dla połączenia F2 po optymalizacji

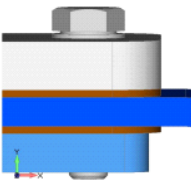


Rys. 12. Wprowadzone zmiany warstwy w połączeniu F2 [14, 15]

Tab.5.2.Osiadanie powłok po optymalizacji F2

OSIADANIE POWŁOK F2			
Warstwa	Opis	Osiadanie	UWAGI
1	Śruba M8, 8.8	3 [ µm ]	Osiadanie materiałowe
2	Podkładka 8	3 [ µm ]	Osiadanie materiałowe
3	Łapa zawiasu S355	12 [ µm ]	Osiadanie powłoki malarskiej
**	Podkładka 1#, 1.4301	2,5 [ µm ]	Osiadanie materiałowe
**	Podkładka 1#, 1.4301	2,5 [ µm ]	Osiadanie materiałowe
**	Podkładka 1#, 1.4301	2,5 [ µm ]	Osiadanie materiałowe
4	Podkładka 1#, 1.4301	2,5 [ µm ]	Osiadanie powłoki malarskiej
5	Uchwyt 1.4301	12 [ µm ]	Osiadanie powłoki malarskiej
6	Podkładka 1#, 1.4301	12 [ µm ]	Osiadanie powłoki malarskiej
7	Wkład gwintowany A2	3 [ µm ]	Osiadanie materiałowe
-	Podkładka sprężysta RIP LOCK	-20 [ µm ]	
<b>SUMA</b>		<b>35[ µm ]</b>	

F2 – Verschraubung Winkel zu Scharnier, M8x30 - 8.8

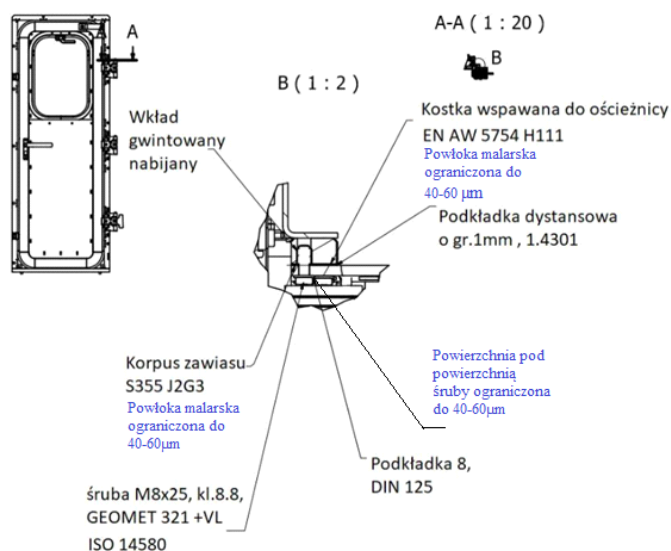


Verschraubungskomponenten		Berechnung Setzbetrag			
Nr.	Bezeichnung	Bezeichnung	Setzbetrag [µm]		
1	Schraube M8 - 8.8	Kopf-/Mutterauflage	3		
2	Spannsicherungsscheibe RIP LOCK	Kopf-/Mutterauflage, beschichtet	12		
3	Blech, S355	innere Trennfuge, beschichtet	12		
4	4 Beilagen, 1.4301	innere Trennfuge, unbeschichtet	4 x 2.5		
5	Winkelblech, Mat.Nr. 1.4301	innere Trennfuge, unbeschichtet	2.5		
6	Beilage, 1.4301	innere Trennfuge, beschichtet	12		
7	Blech, S355	Gewinde	3		
			Spannsicherungsscheibe <sup>[1]</sup>	-20	
			Summe	34.5	
Maximal ermittelte Schraubenkräfte			Ergebnisse		
LF	FAO [N]	FQ [N]	SF [-]	SG [-] <sup>[1]</sup>	MA [Nm] <sup>[2]</sup>
106	291	669	1.27	1.27	23

<sup>[1]</sup> Mindestsicherheit ≥ 1.2; Berechnungsausdruck siehe Anlage  
<sup>[2]</sup> Anziehverfahren: Hydraulisches Anziehen, Anziehungsfaktor 1,4  
<sup>[3]</sup> Setzbetragsrückgewinnung durch Verwendung einer Spannsicherungsscheibe (EN25201-4:2004-06, Anhang A)

Rys. 13. Wyniki obliczeń MES F2 dla osiadania materiałowego oraz powłok lakierniczych po optymalizacji

- Obliczenie osiadania powłok dla połączenia F3 po optymalizacji



Rys. 10. Wprowadzone zmiany warstwy w połączeniu F3 [15]

Tab.5.3.Osiadanie powłok po optymalizacji F3

OSIADANIE POWŁOK F3			
Warstwa	Opis	Osiadanie	UWAGI
1*	Śruba M8, 8.8	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
2*	Podkładka 8	12 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
3*	Korpus zawiasu S355	12 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie powłoki malarskiej
4*	Podkładka 1#, 1.4301	12 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
5*	Wkład gwintowany A2	3 [ $\mu\text{m}$ ]	Osiadanie materiałowe
-	Podkładka sprężysta RIP LOCK	-20 [ $\mu\text{m}$ ]	
<b>SUMA</b>		<b>22 [ <math>\mu\text{m}</math> ]</b>	

F3 – Verschraubung Scharnier zu Konsole, M8x25 - 8.8					
Verschraubungskomponenten			Berechnung Setzbetrag		
Nr.	Bezeichnung		Bezeichnung	Setzbetrag [ $\mu\text{m}$ ]	
1	Schraube M8 - 8.8		Kopf-/Mutterauflage	3	
2	Spannsicherungsscheibe RIP LOCK		Kopf-/Mutterauflage, beschichtet	12	
3	Blech, S355		innere Trennfuge, beschichtet	12	
4	Beilage, 1.4301		innere Trennfuge, beschichtet	12	
5	Gewindeinsatz Keensert, 1.4301		Gewinde	3	
			Spannsicherungsscheibe <sup>[2]</sup>	-20	
			Summe	22	
Maximal ermittelte Schraubenkräfte			Ergebnisse		
LF	FAO [N]	FQ [N]	SF [-]	SG [-] <sup>[1]</sup>	MA [Nm] <sup>[2]</sup>
101	0 (Druck)	600	1.27	1.31	23
<sup>[1]</sup> Mindestsicherheit $\geq 1.2$ ; Berechnungsausdruck siehe Anlage					
<sup>[2]</sup> Anziehverfahren: Hydraulisches Anziehen, Anziehfaktor 1,4					
<sup>[3]</sup> Setzbetragsrückgewinnung durch Verwendung einer Spannsicherungsscheibe (EN25201-4:2004-06, Anhang A)					

Rys. 10. Wyniki obliczeń MES F3 dla osiadania materiałowego oraz powłok lakierniczych po optymalizacji

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wszystkie obliczone przypadki, po wdrożeniu optymalizacji, spełniły zakładane kryteria obliczeniowe, zachowując więcej niż 1,2 współczynnik bezpieczeństwa.

Optymalizacja grubości powłok malarskich, wprowadzona na początku projektowania, nie wprowadza znacznych dodatkowych kosztów do projektu. Wykorzystane zostały

do niej ogólnodostępne technologie i elementy. Wprowadzone w powyższej pracy obliczenia grubości powłok malarskich oraz materiałowych pokazały jak znacząco różnie zjawisko osiadania jeżeli do obliczeń przyjmiemy także grubość powłok malarskich.

System malarski bez optymalizacji, ma dziesięciokrotnie wyższy wynik osiadania niż przyjmowane w normie VDI osiadanie materiałów. Z punktu eksploatacyjnego oznacza to że takie połączenie jest znacznie bardziej narażone na luzowanie. Poprzez braki wiedzy oraz jasnych norm do obliczeń, przyjmujemy osiadanie wyłącznie materiałów, a zjawisko osiadania powłok zostaje pominięte. W przypadku zoptymalizowaniu połączenia F1 udało się uzyskać prawie zerowe osiadanie.

Porównując wyniki prezentowane na rysunkach 8 i 11. możemy łatwo zauważyć że w połączeniu F1 przy różnicy osiadania 10,5  $\mu\text{m}$ , porównując osiadania materiałowe a osiadanie po optymalizacji z uwzględnieniem osiadania materiałowego i powłok lakierniczych, uzyskano większy współczynnik bezpieczeństwa SG o 2,13. Współczynnik bezpieczeństwa SG w połączeniu F2 i F3 po optymalizacji jest bliski wyznaczonemu kryterium bezpieczeństwa, różnice między grubością powłok antykorozyjnych przed zmianą i po zmianie wynoszą: F2 201,5  $\mu\text{m}$  i F3 78,5  $\mu\text{m}$ , nie pozostawiając możliwość przejścia obliczeń z ujęciem grubości warstw.

Przyjmując do obliczeń połączenia śrubowego F1, osiadanie materiałów oraz pełen system malarski, osiadanie 101  $\mu\text{m}$  nie pozwoliło by nam przejść pozytywnie obliczeń, i spełnić narzuconych kryteriów wytrzymałościowych, także w przypadku zastosowania podkładek specjalnych RIP LOCK lub NORD LOCK.

W każdym z obliczonych przypadków po optymalizacji zostały spełnione kryteria obliczeniowe. Ze względu na obecność problemu, powstaje coraz więcej produktów przeciwdziałającym i zabezpieczającym pracę połączeń śrubowych, działający w środowisku obciążeń dynamicznych. Powyższa praca jest apelem o unormowanie opisanego zjawiska, aby każda z firm miała ujednolicone dane do obliczeń. W normie ujmujemy osiadanie materiałów którego wartości mogą być dziesięcio, dwudziesto, pięćdziesięciokrotnie mniejsze, od osiadania z ujęciem powłok malarskich, antykorozyjnych (zależnie od grubości użytych powłok) itd.

System malarski zależnie od gęstości farby jej charakterystyki, ilości warstw będzie się zachowywał inaczej, osiadanie dotyczy także malowania proszkowego oraz każdej z nakładanych warstw antykorozyjnych.

W fazie projektowania połączeń przede wszystkim z klasy M i H, DIN 25201 należy zminimalizować grubość powłok lakierniczych i antykorozyjnych do minimum, jednocześnie zachowując odpowiednie właściwości antykorozyjne.

## LITERATURA

- [1] A. Biegus, *Projektowani konstrukcji stalowych według EUROKODU 3, część 4 - Połączenia śrubowe*, Wrocław 2010.
- [2] A. Skoć, J. Sapałek, *Podstawy Konstrukcji Maszyn*, Wyd. naukowe PWN, 2012



- 
- [3] **K. Włodarz**, *Skuteczne rozwiązanie problemu samoczynnego luzowania połączeń śrubowych*. Zeszyty Naukowo-techniczne SITK RP, Oddział w Krakowie, Nr 2 (106) 239-246, Kraków 2015
  - [4] **VDI 2230**, „*Systematic calculation of high duty bolted joints, Joints with one cylindrical bolt*”.
  - [5] **DIN 25201-1**, *Part 1: Classification of bolted joints – Appendix A*
  - [6] **DIN 25201-2** *Poradnik projektowy dla pojazdów szynowych i ich części - Połączenia śrubowe - Część 2: Projekt - Zastosowania mechaniczne*
  - [7] RAWAG, *Obliczenia połączeń śrubowych z ujęciem osiadania powłok antykorozyjnych - Wewnętrzne procedury firmy*.
  - [8] RAWAG, *Drzwi maszynisty*, Dokumentacja konstrukcyjna firmy.
  - [9] <https://www.nord-lock.com/pl-pl/>

# **PROCES PRODUKCYJNY PROTOTYPU DESKI Z NAPĘDEM SPALINOWYM NOWEJ GENERACJI**

## **1. WPROWADZENIE**

Założenie własnego biznesu jest bardzo trudnym procesem w XXI wieku. Wielu młodych absolwentów nie poddaje się jednak i poświęca ogrom czasu aby osiągnąć cel, być swoim własnym szefem.

Odnalezienie odpowiedniej drogi do sukcesu wymaga wielu przemyśleń, doświadczenia, specjalistycznej wiedzy oraz odrobiny szczęścia. Często, pomimo obecności tych wszystkich czynników coś w pewnym momencie idzie nie tak i nawet najbardziej obiecujący pomysł umiera w świecie brutalnego kapitalizmu. Świadomość tych realiów często zniechęca do prób podjęcia działań.

Niniejsza praca ma na celu udokumentowanie, iż odpowiednie podejście do tematyki rozpoczęcia własnego biznesu może znacząco zwiększyć szansę na sukces. Umiejętności z dziedziny inżynierii mechanicznej pomogą odnaleźć się niemalże w każdej dziedzinie o której trzeba mieć pojęcie rozpoczynając własny biznes.

W pracy przedstawiono proces realizacji autorskiego pomysłu na rozpoczęcie biznesu. Produkcji deski napędzanej silnikiem spalinowym nowej generacji. W efekcie prac powstały dwa prototypy oraz pierwsza partia produkcyjna licząca pięć sztuk z czego trzy zostały sprzedane jeszcze przed uruchomieniem kampanii reklamowej. Zostały opisane wszelkie rozważania dotyczące wszystkich krytycznych decyzji od wyboru produktu, przez plan działań, marketing, budowę prototypu, testy po sprzedaż pierwszych sztuk.

Całokształt projektu, pomimo niezliczonych trudności został oceniony bardzo pozytywnie. Oczekiwania wobec produktu zostały spełnione. Prace nad rozwojem deski z napędem spalinowym będą w przyszłości kontynuowane.

## **2. DESKA Z NAPĘDEM - WERSJA PROTOTYPOWA**

W niniejszym rozdziale, autorzy pracy przedstawiają projekt pierwszego prototypu deski. Formują pierwsze założenia projektowe dotyczące ogólnych zasad funkcjonowania. Prowadzą rozważania na temat doboru rodzaju silnika, który jest najważniejszym elementem samojezdnej deski. Ponadto przeprowadzają testy próbnego egzemplarza, stanowiącą podstawę do określenia założeń projektowych docelowej wersji.

## 2.1. Dobór silnika oraz pierwsze założenia - improwizacja

Pierwszym znaczącym krokiem w realizacji projektu było opracowanie prowizorycznego prototypu. Założenia projektowe były proste i bardzo ogólne:

- zasada sterowania charakterystyczna dla wszystkich desek – balans ciałem,
- koła pneumatyczne przymocowane do spodu deski wychodzące na bokach poza jej obrys. Jazda w terenie – na wzór mountainboardu,
- rozpoczęcie jazdy deski po przesunięciu dźwigni przyspieszenia,
- silnik zamocowany do tylnego zawieszenia deski,
- napęd położony za pomocą łańcucha na tylne koło,
- sterowanie szybkością jazdy za pomocą manetki.

Na etapie ustalania założeń według których powstał pierwszy prototyp została podjęta decyzja o charakterze produktu. Wybór rodzaju napędu do deski ma decydujący wpływ na jej budowę i podstawową funkcjonalność. W przypadku realizowanego projektu brane pod uwagę były dwa rodzaje silników, silnik spalinowy lub elektryczny. Każdy z nich ma swoje wady i zalety w zależności od docelowego przeznaczenia.

W zamyśle twórców deski najistotniejszym elementem wyróżniającym ją z pośród istniejących już na rynku było dostosowanie jej do ekstremalnych warunków jazdy. Teren bogaty w lasy, polne ścieżki, pagórki, łąki oraz mokradła charakteryzujące się wysoką wilgotnością otoczenia. Polska leży w umiarkowanie wilgotnych warunkach klimatycznych. Według Instytutu Meteorologii oraz Gospodarki Wodnej średni opad w skali roku w Polsce wynosi około 600 mm. Badania instytutu wykazały również, że średnio 157 dni jest deszczowych [1]. Przyjmując, iż po niektórych deszczowych dniach trwających kilka dni na dworze jest mokro. Wychodzi na to, że przez połowę roku na zewnątrz możemy napotkać deszcz, kałuże i błoto.

Silniki elektryczne wymagają zasilania z baterii, sterowników oraz odpowiedniego okablowania, elektroniki która nie lubi wody. W przypadku nawet najlepszych zabezpieczeń przed wilgocią nigdy nie przewyższą silników spalinowych w kategorii bezawaryjności w ekstremalnych warunkach.

Kolejnym negatywnym aspektem takiego rozwiązania w wymagającym terenie jest fakt iż silnik elektryczny zasilany z akumulatora zapewnia pełną wydajność przy wysokim stopniu naładowania. Gdy bateria ulega rozładowywaniu podczas jazdy, wydajność silnika spada. Na przestrzeni czasu korzystania z deski przeznaczonej do jazdy po trudnym terenie jest zjawisko negatywne, które nie występuje w silniku spalinowym. Powyższe argumenty przeważały o wstępnym wyborze wersji z napędem spalinowym.

Podstawową funkcjonalnością deski, która umożliwi jazdę komfortową jest to aby uruchomiony silnik mógł pracować na wolnych obrotach, a dopiero po naciśnięciu dźwigni „przyspieszenia” zaczęła jechać. W pojazdach spalinowych codziennego użytku np. samochodach tą niezbędną funkcjonalność gwarantuje sprzęgło. Ruszając samochodem wciskamy pedał sprzęgła, wajchę zmiany biegów ustawiamy na bieg startowy i po odpuśczeniu pedału sprzęgła samochód rusza. W przypadku obsługi deskorolki spalinowej tak skomplikowany proces nie jest możliwy. Odnosząc się do wcześniejszych rozważań, użytkownik trzyma manetkę którą obsługuje przyspieszanie oraz hamowanie urządzenia. Obsługa sprzęgła oraz procedury zmiany biegów wymagała by dołożenia

dwóch dodatkowych elementów do manetki. Mogło by to zbyt bardzo skomplikować obsługę urządzenia i uczynić je niefunkcjonalnym.

Istotnym przeciwskazaniem, w tym przypadku, jest również duża masa silnika ze skrzynią biegów która zwiększyła by masę całości urządzenia o zbędne kilogramy.

Reasumując, najlepszym rozwiązaniem byłby mały lekki silnik bez skrzyni biegów w którym przeniesienie momentu obrotowego następuje po przemieszczeniu dźwigni „gazu”. Po przeanalizowaniu istniejących na rynku pojazdów oraz urządzeń codziennego użytku napędzanych silnikami spalinowymi dobrano rozwiązanie pasujące do wyżej określonych wymagań. Silnik ze sprzęgłem odśrodkowym. Takie rozwiązanie stosuje się w kosach spalinowych.

Na podstawie założeń, w wyniku improwizacji z części z odzysku, powstał prototyp deski z napędem spalinowym – rys. 1.



*Rys. 1. Pierwszy prototyp deski z napędem*

Produkcja oraz testy pozwoliły na wyciągnięcie wielu wniosków oraz zdobycie doświadczeń, które mają istotny wpływ na planowanie produkcji docelowej wersji deski.

Plan procesu produkcyjnego deski został opracowany na podstawie spostrzeżeń wynikających z pierwszych prób użytkowania w określonych warunkach:

- ochotnik testujący deskę to mężczyzna ważący 80 kilogramów, mierzący 180 centymetrów wzrostu,
- deska użytkowana wiosną w temperaturze otoczenia od 10 do 25<sup>0</sup>C, w cyklach od 30 do 180 minut w zróżnicowanych warunkach pogodowych. Podczas lekkiego deszczu jak i w silnym nasłonecznieniu. Najdłuższy przebyty dystans to 30 kilometrów,

Została przetestowana sprawność deski w następujących lokalizacjach:

- betonowy plac z miejscami obsypany żwirem oraz drobnymi kamieniami, polne ścieżki po obfitym deszczu w błocie oraz kałużach. Trawnik suchy oraz mokry, las, pagórki o nachyleniu zbocza od 5 do 15<sup>0</sup>, piaskownia przy różnej pogodzie, asfalt mokry oraz suchy.

Na podstawie przeprowadzonej wnikliwej analizy pierwszych testów można wysnuć następujące wnioski:

Urządzenie budziło bardzo duże zainteresowanie wśród przypadkowych osób, które znajdowały się w pobliżu prowadzonych prób. Największe zainteresowanie wykazywały osoby młode, dzieci w wieku szkolnym. Niemniej osoby dorosłe. Jednakże wszystkie osoby zadawały wiele pytań dotyczących produktu. Niektóre z tych rozmów kończyły się zadeklarowaniem chęci kupna produktu po jego ukończeniu jako prezent dla bliskiej osoby. Jest to bardzo pozytywna informacja dla zespołu ponieważ potwierdza to tezę, że deska ma w sobie pewną „magię”. Zainteresowanie osób przypadkowych prototypem w którym aspekty wyglądu zostały zupełnie pominięte pozwala wysnuć wniosek iż po doprowadzeniu urządzenia do satysfakcjonującego wyglądu i opracowaniu odpowiedniej strategii marketingowej projekt ma szansę odnieść sukces.

Konieczność opracowania nowoczesnego projektu wizualnego deski była już oczywista na etapie produkcji wersji prototypowej.

przy masie 80 kg osoby testującej, deska radziła sobie zadowalająco przy jeździe po łatwym terenie. Przy próbie pokonania błota, kałuż lub piaszczystego podłoża brakowało mocy w silniku. Koło na które był przełożony napęd grzęzło w podłożu i wirowało nie przemieszczając deski do przodu. Wjeżdżanie na pagórki było powolne i nie zawsze kończyło się sukcesem. Nie był możliwy dynamiczny start.

Na podstawie powyższych obserwacji należy uznać, iż prototyp sprawdził się w przypadku spokojnej rekreacyjnej jazdy. Jednak, jeśli chodzi o główne przeznaczenie produktu, którym jest ekstremalna jazda po trudnym terenie urządzenie nie zdało egzaminu.

W celu rozwiązania opisanego problemu w kolejnej wersji należy zaadaptować:

- większej mocy silnik o jak najwyższym momencie obrotowym
- dobrać koła oraz opony o profilu terenowym. Bieżnik opony musi być zaopatrzone w największą możliwą „kostkę”
- dwa autonomicznie działające koła z tyłu deski z których tylko jedno jest napędzane. Zastąpić jedną ośią do której będą przymocowane koła, a na oś przeniesiony napęd

Stabilność użytkowania. Docelowo deska musi być większa. Niezbędne jest pokrycie jej powierzchni okładziną zwiększającą siłę tarcia pomiędzy butem jeźdźcy a powierzchnią deski. Możliwe zastosowanie specjalnych wiązań, które na stałe przytwierdzą użytkownika do deski. Takie rozwiązanie zmaksymalizuje efekt przyczepności ale negatywnie wpłynie na aspekty bezpieczeństwa. To rozwiązanie może być oferowane tylko doświadczonym użytkownikom. Decyzja o rozwiązaniu opisywanego problemu zostanie podjęta po przeprowadzeniu kolejnych testów

Sprężystość deski jest jedynym elementem amortyzującym w całym urządzeniu. W związku z tym, iż jest to parametr który nie poddaje się żadnej możliwej regulacji po jego wyprodukowaniu, konieczne jest opracowanie sposobu na własną produkcję tego elementu urządzenia. Takie rozwiązanie spersonalizuje deskę pod przyszłego użytkownika. Dobór odpowiedniej ilości warstw forniru. Podczas produkcji deski fornir pozwoli na dostosowanie parametru sprężystości. Konieczne jest skonstruowanie narzędzia do produkcji desek np. prasy

Podczas testów zdarzały się awarie, które uniemożliwiały dalszą jazdę z powodu rozwarstwienia deski. Jest to niedopuszczalne ponieważ wystąpienie takiej usterki pod-

czas ekstremalnej jazdy może zakończyć się poważnym wypadkiem z narażeniem zdrowia użytkownika. Priorytetem w dalszych działaniach projektowo-konstrukcyjnych jest osiągnięcie najwyższej trwałości i niezawodności wszystkich podzespołów.

Najczęściej występującą awarią było zsuwanie się łańcucha przenoszącego napęd z zębatego napędowej lub napędzanej. Przyczyną tego zjawiska było zastosowanie wadliwego systemu naciągowego.

Produkt przemysłowy musi zostać wyposażony w bezawaryjny układ hamulcowy z dźwignią wyprowadzoną do manetki gazu. Aby zwiększyć efektywność hamowania hamulce tarczowe powinny zostać zamontowane do dwóch niezależnych kół na przedniej osi.

Na podstawie powyższej analizy powstały następujące wytyczne:

1. Deska powinna zachować ogólny układ podzespołów, który został zastosowany w prototypie.
2. Wygląd produktu musi mieć charakter ekstremalny i przyciągać uwagę.
3. Konieczne jest zastosowanie mocniejszego silnika, lepszej jakości.
4. Wykonać nowy projekt zawieszenia aby zapewnić jego trwałość i niezawodność.
5. Dobrać nowe koła oraz opony do których należy dostosować układ zawieszenia.
6. Opracować system przełożenia napędu na tylną oś.
7. W tylnej części zawieszenia należy uwzględnić mocowanie na nowy silnik oraz nowy system naciągu łańcucha.
8. W przedniej części należy przewidzieć układ hamulcowy.
9. Zaprojektować prasę do produkcji głównego podzespołu deski.
10. Wykonać zawieszenie deski w kooperacji w celu zapewnienia najwyższej jakości
11. Montaż produktu.
12. Testy.

### **3. REALIZACJA PROJEKTU DESKA Z NAPĘDEM SPALINOWYM**

W rozdziale trzecim opisano przebieg prac projektowych deski z napędem spalinowym nowej generacji. Przygotowanie ich wymaga doboru najlepszej metody zapisu procesu projektowo-konstrukcyjnego [2]. Przedstawiono krótkie wprowadzenie do sposobu działania metody macierzy zależności oraz optymalizacji algorytmem ewolucyjnym, która została wykorzystana w projekcie. W efekcie powstał zoptymalizowany harmonogram zadań [3].

Następnie zostały wyodrębnione zadania i przydzielone odpowiednim członkom zespołu projektowego. Wyszczególniono trzy różne bloki tematyczne: opracowanie wyglądu zewnętrznego, opracowanie sposobu produkcji decków oraz projekt systemów jezdnych.

#### **3.1. Proces produkcyjny deski nowej generacji**

Opracowanie poprawnego harmonogramu realizacji produkcji jest istotnym elementem realizacji projektu. W tej fazie ustalane są i precyzowane wszystkie kroki powstawania produktu. Bez specjalistycznej wiedzy oraz odpowiedniego podejścia do projektowania

w projekcie mogą pojawić się błędy. Projektowanie oraz konstruowanie prototypów jest procesem typowo twórczym dla którego charakterystyczne są zabiegi modernizacji. Konieczność wprowadzenia odpowiednich poprawek i ponowne realizowanie zadania spowoduje wydłużenie czasu ukończenia projektu oraz może wygenerować dodatkowe koszty co jest zjawiskiem negatywnym dla całego projektu.

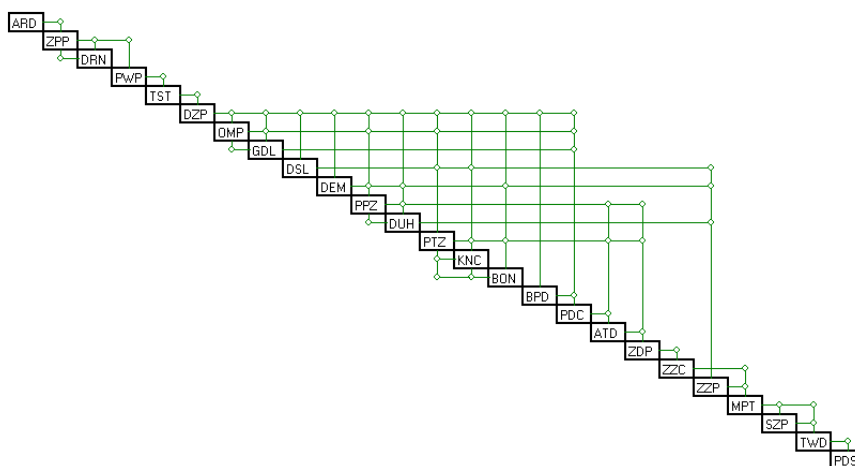
W celu opracowania procesu projektowo-konstrukcyjnego posłużono się metodą macierzy zależności, oraz jej optymalizacji algorytmem ewolucyjnym [4,5]. Zoptymalizowany plan prac został przedstawiony na rys. 2 oraz tab. 1.

*Tabela 1. Plan realizacji budowy prototypu deski nowej generacji*

Lp	Nazwa zadania	Skrót	Relacje	Czas
1	Analiza rynku - wstępna wizja produktu - decyzja	ARD		3
2	Założenia projektowe prototypu	ZPP	1,3	1
3	Dobór rodzaju napędu - docelowa wizja produktu	DRN	2	1
4	Budowa wersji prototypowej	PWP	2	3
5	Testy wersji prototypowej	TST	4	7
6	Wnioski oraz założenia projektowe wersji 2.0	DZP	5	3
7	Ogólny model produktu z uwzględnieniem designu	OMP	8,6,	1
8	Projekt grafiki na deskę oraz logo, zamówienie naklejek	GDL	7,6	3
9	Dobór silnika i przekładni	DSL	6	3
10	Dobór elementów jezdnych	DEM	6	1
11	Projekt przedniego zawieszenia	PPZ	6,10,12,7	3
12	Dobór elementów układu hamulcowego	DUH	6,10,11	1
13	Projekt tylnego zawieszenia	PTZ	6,7,9,14,15	3
14	Koncepcja naciągu łańcucha	KNC	6,9, 13,15	2
15	Projekt przełożenia napędu oraz blokady tylnej osi	BON	6,13,10,14	2
16	Projekt oraz budowa prasy do decków	BPD	6	6
17	Produkcja decku	PDC	6,7,8,16	3
18	Analiza modelu 3D projektu	ATD	17,13,11	1
19	Dokumentacja produkcyjna	ZDP	18, 13,11	3
20	Zlecenie wykonania zaprojektowanych części	ZZC	19	14
21	Zlecenie zamówienia wytypowanych podzespołów	ZZP	9,10,12	7
22	Montaż prototypu	MPT	20,21	5
23	Sesja zdjęciowa do celów promocyjnych	SZP	22	1
24	Testy wersji nowej generacji	TWD	22,23	7

25	Podsumowanie wersji nowej generacji	PDS	24	1
----	-------------------------------------	-----	----	---

Na podstawie powyższej tabeli opracowano macierz zależności rys.2.



Rys. 2 Macierz zależności po optymalizacji

Na podstawie analizy planu działań, które należy wykonać, można przystąpić do podziału zadań. Zostały wyszczególnione trzy różne bloki tematyczne: opracowanie wyglądu zewnętrznego, opracowanie sposobu produkcji decków, oraz projekt systemów jezdnych.

Grafika zdobiąca deskę musi być stylowa oraz atrakcyjna. Obraz na niej nie może zostać dobrany z istniejących już propozycji. W związku z tym, iż produkt ma charakteryzować się solidną marką, grafikę opracowano we własnym zakresie rys. 3.



Rys. 3. Autorskie wzory desek



Innym zadaniem, które jest w dużym stopniu niezależne od głównego bloku projektowego, jest opracowanie autorskiej technologii produkcji desek. Dotyczy to głównego elementu produktu na którym stoi użytkownik i do którego przyczepione są elementy jezdne.

Zgodnie z założeniami projektantów produktu, deck w desce z napędem spalinowym będzie bardzo zbliżony swoim kształtem do klasycznego decku mountainboardowego. Budowa mountainboardu nie przewiduje żadnych amortyzatorów w swojej konstrukcji. Elementy jezdne mają funkcjonalność skrętu i są przyczepione bezpośrednio do deski. Jazda po trudnym terenie z dużą prędkością oraz skoki i lądowania wymagają systemu amortyzacji. W innym przypadku jazda była nie przyjemna, męcząca i na pewno negatywnie wpływała by na stawy biodrowe i kolanowe użytkownika.

Parametr sprężystości jest określany już przy produkcji danego decku. Nie istnieje możliwość jego modyfikacji po wyprodukowaniu. Ma on jednocześnie wpływ na jakość użytkownika urządzenia. Głównym czynnikiem który decyduje o wymaganej sprężystości deski jest masa użytkownika. Na rynku jest dostępnych wiele rodzajów decków przeznaczonych do moutnainboardu, które dobiera się według parametru sztywności oraz wagi operatora.

W przypadku adaptacji blatu mountainboardowego do deski z napędem spalinowym mogą powstać przekłamania parametrów funkcjonalnych. Opracowywany produkt, mimo tak wielu podobieństw, różni się od klasycznego mountainboardu. Projekt przewiduje inne systemy jezdne, dużo cięższe, wyposażony w spalinową jednostkę napędową. Silnik położony z tyłu, jako źródło napędu, będzie pchał całą deskę z operatorem. Sytuacja ta spowoduje działanie znacznie większych sił na tylną część blatu. W związku z powyższym parametry wytrzymałościowe istniejących już decków mogą nie do końca sprostać stawianym oczekiwaniom. Procedura doboru blatu pod styl jazdy oraz wagę użytkownika znacznie się komplikuje. Zaoferowanie tego typu personalizacji jest jednak niezbędnym krokiem dla powodzenia projektu.

W związku z powyższym postanowiono, iż koniecznym będzie opracowanie oraz uruchomienie własnego modelu produkcji blatów dla deski z napędem spalinowym nowej generacji - prasy. Dla poparcia tego rozwiązania zostały przytoczone następujące argumenty:

- a) Należy eksperymentalnie opracować i przetestować model decku dla deski z napędem spalinowym.
- b) Własna produkcja decków pozwoli na uzyskanie tego podzespołu w korzystniejszej cenie w porównaniu do detalicznego zakupu od dostawców.
- c) Jest to jedyny sposób na personalizację niezbędnych parametrów decku dla deski z napędem spalinowym pod indywidualnego użytkownika.
- d) Jest to jedyny sposób aby uzyskać autorski deck, który można poddać oklejaniu w celu naniesienia własnej grafiki.

Autorska prasa powinna zostać wykonana sposób najmniej kosztowny. Jest to jedno z dwóch głównych założeń projektowych dotyczących budowy tego narzędzia. Drugie założenie jest takie, iż prasa ma umożliwić ściśnięcie z dużą siłą sklejonych obłogów pomiędzy dwoma elementami formy. Pozwoli na to wyprodukowanie decków o różnych

grubościach i zawartościach kleju do pierwszej partii produkcyjnej deski z napędem spalinowym nowej generacji.

Idea jest bardzo prosta. Potrzebna jest wytrzymała rama, która zmieści w sobie połówki formy i o którą będzie można zaprzeć urządzenie dociskowe. W przypadku tego projektu tymi urządzeniami będą trzy lewarki.

Największą trudnością w budowie prasy jest kwestia wykonania precyzyjnej formy, która ma nadawać kształt produkowanym sklejkom. Połówki formy zostaną wykonane z betonu. W związku z tym, że forma będzie poddawana dużym naciskom, a rozmiary jednej połówki są duże, formy należy dodatkowo wzmocnić stalowym zbrojeniem.

Po przeliczeniu gabarytów skonstruowano formę pomocniczą z płyt OSB, która posłuży do odlania docelowych ich połówek. Najważniejszym etapem tego procesu jest odpowiednie zamodelowanie pożądanego profilu i precyzyjne podzielenie na dwie równe połówki. Profil był wzorowany na najbardziej uniwersalnym wzorze decków do mountboardu. Został on wykonany z dwóch warstw płyty ze spienionego polistyrenu wzmocnionej drewnianymi żebrami wewnątrz tak aby zachować grubość decku. rys. 4.



Rys. 3. Produkcja matrycy

Proces produkcyjny deski zaczyna się od zamówienia odpowiedniego rodzaju forniru pasującego do receptury przygotowanej przez doświadczonego w branży drzewnej rzemieślnika. Drewnem wykorzystanym do produkcji w omawianym projekcie jest klon kanadyjski. Na tym etapie sprawdzane są wybrane kleje oraz wymagane rozpuszczalniki do przygotowania autorskiej mieszanki spoiwa, którym będą łączone obłogi. Po przygotowaniu wszystkich arkuszy forniru następuje przygotowanie spoiwa z mieszanki klejów oraz rozpuszczalników. Wstępnie sklejone ze sobą obłogi należy umieścić w matrycy nadającej kształt sklejkce. Następnie następuje docisk za pomocą prasy. Po wyschnięciu kleju następuje odcięcie naddatku powstałego w wyniku procesu formowania oraz wycięcie pożądanego kształtu deski. Po ostatecznej obróbce mechanicznej półproduktu, pokrywa się go bejcą, bądź lakierem w celu zapewnienia dodatkowego zabezpieczenia przeciw uszkodzeniom mechanicznym oraz wilgoci. Ostatnim etapem produkcji decka jest oklejenie jego górnej płaszczyzny samoprzylepną folią polimerową z laminatem stałym i nadrukiem grafiki.

Najbardziej złożonym blokiem projektowym jest opracowanie systemów jezdnych. Są to elementy, które decydują o istocie działania produktu oraz adaptacji silnika do deski. Wymaga on zupełnie nowego innowacyjnego podejścia, gdyż w przeciwieństwie do wcześniej opisywanych elementów, nie istnieje w tym przypadku urządzenie na którym można wzorować się. Najważniejszym elementem jest jednostka napędowa. Głównymi kryteriami wyboru w poszukiwaniach były: moc oraz moment obrotowy, niezawodność oraz dostępność silnika na rynku. Wytypowano silnik Kawasaki TJ53E. Konstrukcja jednostki napędowej posiada zestaw otworów montażowych otaczających sprzęgło odśrodkowe. W przypadku deski z napędem spalinowym nowej generacji elementem odbierającym moment obrotowy silnika jest przekładnia ślimakowa zakończona kołem zębatym. Jest to sprawdzone rozwiązanie zaczerpnięta z innego urządzenia, które gabarytowo i funkcjonalnie odpowiada potrzebom projektu.

Po dokładnym sprecyzowaniu komponentów wchodzących w skład zespołu napędowego przystąpiono do projektowania elementów mocowania silnika.

Z analizy istniejących na rynku rozwiązań dotyczących systemów jezdnych do mountainboardu wynika że 100% z nich jest odlewem. Metoda ta jest jednak bardzo kosztowna, w związku z czym nie była brana pod uwagę. Przewidywany kształt systemów jezdnych jest bardzo skomplikowany. Wskazane było by frezowanie elementów w celu uzyskania pożądanej jakości oraz odpowiedniego kształtu. Planuje się wycięcie laserem lub wykrawarką numeryczną określonych kształtów z blachy, a następnie pospawanie ich według opracowanego projektu tak aby uzyskać pożądany kształt.

Technologia ta pozwala na uzyskanie oszczędności poprzez samodzielne wykonanie procesu spawania. Od konstruktora wymaga się zastosowania rozwiązań konstrukcyjnych, które ograniczyły by ilość wspomnianych połączeń do minimum. Zabiegi te mają na celu zmniejszenie czasu potrzebnego na produkcję podzespołów oraz ograniczenie możliwości wystąpienia błędów. Rozwiązania zostały przedstawione na rys. 5.



Rys. 4. Model 3D łoża silnika.

W kolejnych etapach projektowania systemów jezdnych dla deski z napędem spalinowym pojawiło się kilka zapytań do rozwiązań, które wymagały przeprojektowania pod kątem technicznym. Pierwszą z nich było opracowanie funkcjonalnego naciągu łańcucha. Rozwiązanie tego problemu zostało zaczerpnięte z motoru sportowego. Tylne koło do którego przymocowana jest zębatka jest ruchome względem silnika. W przypadku deski z napędem spalinowym ruchoma tylna oś nie sprawdziła się. Uniemożliwia to sama koncepcja działania deski oraz jej budowa. W związku z tym zaproponowano rozwiązanie przesuwania całego silnika względem tylnej osi. W ten sposób naciąg łańcucha jest regulowany poprzez zmianę położenia zębatego napędowego względem napędzanej a nie jak w przypadku motocykla napędzanej względem napędowej. Rozwiązanie to wymaga wzmocnionego tylnego systemu jezdnych. Łoże wraz z silnikiem powinno mieć możliwość przesunięcia względem reszty zespołu oraz zablokowania swojego położenia po regulacji. Problem rozwiązano za pomocą śruby naciągowej. Regulacja musi być możliwa w kierunku pracy łańcucha. Problematycznym zagadnieniem do rozwiązania okazało się złożenie tylnego systemu jezdnych w całość. Na tylną oś nałożonych jest wiele elementów od których wymaga się łatwego demontażu.

Po zgromadzeniu wszystkich zamówionych oraz wyprodukowanych podzespołów nastąpił montaż prototypu według wcześniej ustalonych założeń [6]. Etap ten jest ostateczną kontrolą jakości procesu produkcyjnego. W przypadku prototypu deski z napędem spalinowym nowej generacji, wszystko odbyło się zgodnie z oczekiwaniami. Budowa deski przebiegła sprawnie i bez żadnych problemów. Prototyp deski z napędem spalinowym nowej generacji został przedstawiony na rys. 6.



*Rys. 5. Deska z napędem 2.0.*

Założenia dotyczące testów są takie same jak dla poprzedniej wersji prototypowej. Wyniki testów prezentują się następująco:

1. Podczas pierwszych godzin testów można było odczuć nieprawidłowe działanie mechanizmów podlegających regulacji. Silnik podczas pracy na wolnych obrotach wprawiał pojazd w ruch. Należało obniżyć obroty silnika na biegu jałowym, tak aby sprzęgło nie przekazywało napędu na kosz sprzęgła. Konieczne było opracowanie poziomu regulacji naciągu łańcucha. Przy nieodpowiedniej konfiguracji położenia łoża silnika względem tylnej osi, łańcuch zsuwał się z zębatek zarówno napędowej jak i napędzanej. Układ hamulcowy wymagał precyzyjnej regulacji. Zbyt czułe hamulce powodowały natychmiastowe zatrzymanie, co często kończyło się upadkiem. Optymalna regulacja poprzez naciągnięcie linki pozwala na bezpieczne wytracanie prędkości przez pojazd.
2. Osiągi deski przekraczały najśmielsze oczekiwania zespołu projektowego. Deska bez problemu ruszała z miejsca na spadach czy też na grząskim terenie. Okazała się bardzo zrywna i przyspieszała szybko. Jazda wymagała sporej ostrożności oraz doświadczenia. Koniecznym okazało się stosowanie odzieży ochronnej u użytkownika gdyż obycie się ze sprzętem wymagało licznych upadków. Ochraniacze nadgarstków oraz kolan znacznie łagodziły dyskomfort upadku.
3. Podczas testów wydarzył się niebezpieczny incydent. W trakcie jazdy po lesie użytkownik testujący utracił równowagę i bezpiecznie zeskoczył z deski. Pojazd po wypuszczeniu manetki gazu z ręki przyspieszał i jechał dalej. Konieczne jest

- zastosowanie wyłącznika bezpieczeństwa, który przerwie prace silnika w momencie opuszczenia operatora deski.
4. W sytuacji w której jeździec zeskakuje z pojazdu występuje możliwość uszkodzenia gaźnika. Dzieje się tak gdyż linka gazu jest jedynym elementem łączącym deskę z użytkownikiem. W momencie, kiedy stoi użytkownik w miejscu a pojazd wciąż się porusza następuje gwałtowne zatrzymanie obciążające gaźnik. Konieczne jest zabezpieczenie sprzętu przed tego typu awarią.
  5. W związku z dużą mocą silnika deski nie ma możliwości przetestowania jej funkcjonalności w 100%. Jazda na najwyższych obrotach wymagała wdrożenia rozwiązań gwarantujących bezpieczne użytkowanie. Rekomendowane jest zastosowanie wiązań.
  6. Deska budziła ogromne zainteresowanie podczas testów. Przypadkowe osoby były zachwycone designem deski. Udało się w ten sposób znaleźć kilka osób deklarujących chęć zakupu egzemplarza z pierwszej partii produkcyjnej i uczestnictwa w kolejnym etapie testów.
  7. Przypadkowi świadkowie testów zwracali uwagę na odsłonięty łańcuch. Budził on dyskomfort wśród większości obserwatorów. Mimo, iż podczas testu nie wystąpił żaden niebezpieczny incydent związany z odsłoniętym łańcuchem, zaproponowano wyposażyć deskę w osłony.
  8. Podczas testów zostały sprawdzone parametry pojazdu. Przy przełożeniu nastawionym na maksymalną moc urządzenia rozwinęło maksymalną prędkość 40 kilometrów na godzinę. Do pomiarów został wykorzystany samochód, który poruszał się równoległe z deską. Spalenie pełnego zbiornika paliwa pozwoliło na pokonanie 40 kilometrów w trudnym terenie.

Testy deski z napędem spalinowym nowej generacji dały bardzo satysfakcjonujący wynik. Została osiągnięta odpowiednia moc oraz niezawodność. Większość wykazanych podczas testów mankamentów została wyeliminowana. Niektóre rozwiązania wymagały przeprojektowania i adaptacji nowych elementów do urządzenia.

#### **4. POSUMOWANIE**

W związku z ogromnym zainteresowaniem produktem, które dało się zauważyć podczas testów, postanowiono iż zostanie wyprodukowana pierwsza partia w ilości 5 sztuk. Decyzja ta ma na celu przekazanie do użytkownika osobą związanym z pokrewnymi sportami deski z napędem spalinowym nowej generacji w celu poszerzenia grupy doświadczalnej. Zdobycie dodatkowych opinii technicznych może sprzyjać dalszemu rozwojowi produktu. Ponadto grupa testerów jest zobowiązana do udostępnienia nagrań z odbytych przejażdżek, które zostaną wykorzystane w celach promocyjnych. Rozpowszechnianie produktu w środowisku osób zainteresowanych ma również znaczenie marketingowe

Dobór odpowiednich metod zarządzania produkcją oraz praktycznego wykorzystania wiedzy dotyczącej inżynierii, pozwoliły na wyprodukowanie prototypu deski w optymalnym czasie oraz kosztach. Każda decyzja była rozważna według kryteriów adekwatnych do sytuacji w myśl zasad inżynierii współbieżnej. Bez wątpienia takie podejście przyczyniło się do minimalizacji występowania błędów projektowo-konstrukcyjnych co wynika z podsumowania przebiegu projektu.

Zainteresowanie produktem, które można było zauważyć podczas testów daje bardzo dobre prognozy dotyczące dalszego rozwoju projektu. Osoby zaangażowane w testy pierwszej partii produkcyjnej wyraziły pozytywne opinie na temat deski, oraz przekazały rekomendacje znajomym.

Kolejne wersje deski z napędem spalinowym rozwijać się będą w kierunku uzyskania lepszej płynności w produkcji. Wskazana jest zmiana technologii produkcji systemów jezdnych. Należy konieczne zastosować formy wtryskowe które zmniejszą masę urządzenia.

Pierwszy kierunek rozwoju projektu deski z napędem to adaptacja mocniejszego silnika. Charakter deski pozostaje bez zmian, jazda w trudnym terenie. Włoska firma POLINI produkuje małe lekkie silniki spalinowe do miniaturowych motocykli sportowych. Silnik gabarytowo oraz wagowo pasował by do zastosowania w desce z napędem spalinowym.

Deska z silnikiem o mocy 5kW jest skrajnie ekstremalnym produktem, na który na pewno znajdują się fanatycy tego sportu.

## 5. LITERATURA

- [1] <http://wmo.imgw.pl:8080/wwis/009/c00586.htm> (12.07.2017r)
- [2] **Rohatyński R. i in.**, *Projektowanie współbieżne w budowie maszyn*, Grant nr 7TO 7C0029
- [3] **Kielec R.**, *New method for engineering projects management with the use of evolutionary algorithm*, W: 7th International Conference on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems, CONFENIS 201., Prague, Czechy, 2013.
- [4] **Eppinger S. D. and Browning T. R.** (2012) *Design Structure Matrix Methods and Applications*, MIT Press, Cambridge.
- [5] **Kielec R.** (2012), 'Matrix method in rationalisation of spacial arranging of machines and devices', Zarządzanie przedsiębiorstwem. Teoria i praktyka: XIV międzynarodowa konferencja. Kraków 2012, Polska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, s. [8] CD-ROM.
- [6] **Sąsiadek M.**: *Planowanie i wybór sekwencji montażu we współbieżnym projektowaniu elementów i zespołów maszyn*, Uniwersytet Zielonogórski 2009

# THE EFFECT OF THE NANODIAMONDS INTRODUCTION ON THE PROPERTIES OF POWDER CARBON STEEL

## 1. INTRODUCTION

Modern equipment with a wide range of operating conditions and high performance requires a development of friction units, which can work in difficult conditions. Antifriction materials, used for these units, are characterized by low friction coefficients and high wear resistance. These properties ensure minimal power loss in friction units and maximize their service life. Under the conditions of friction with limited lubrication or boundary friction, the wear resistance and the operability of traditional antifriction materials are reduced sharply.

There are two ways to improve the tribological properties of powder materials. One of them is the pre-impregnation of porous parts with liquid oils. This results in the self-lubricating property for machine parts. The wear resistance of porous self-lubricating bearings is 2–3 times higher than of cast materials bearings, which are unfit for operation without regular lubrication of the friction zone [1, 2].

Another way is the introduction of solid particulates into the friction zone by their addition to the metal matrix during the manufacturing process of the antifriction material. Oxides, carbides, borides, nitrides, sulfides of various chemical elements [3, 4], their mixtures and compounds [5, 6] can be used to this case. The most effective solution of tribological problems is the introduction of nanoparticulates to the base material. Adhesion between the contact surfaces is reduced with the presence of nanoparticulates, which increase the distance between these surfaces. This is due to the fact that nanoparticulates have the rolling ability, i.e. they act as ‘spacers’. As a result, the conditions of friction are changed positively; in particular the limiting  $pV$  of the material is clearly improved [7].

Recently, nanodiamonds have been used as additives. High hardness, good thermal conductivity, good wear resistance and chemical resistance characterize diamond as a material. Additionally, diamond has excellent properties of nanometer material in ultrafine-grained state. The nanodiamonds can be added either to the lubricant or more rarely – to the base material [8–11].

In this paper, the effect of the nanodiamonds presence on some mechanical and tribological properties of the sintered carbon steel is investigated and described.

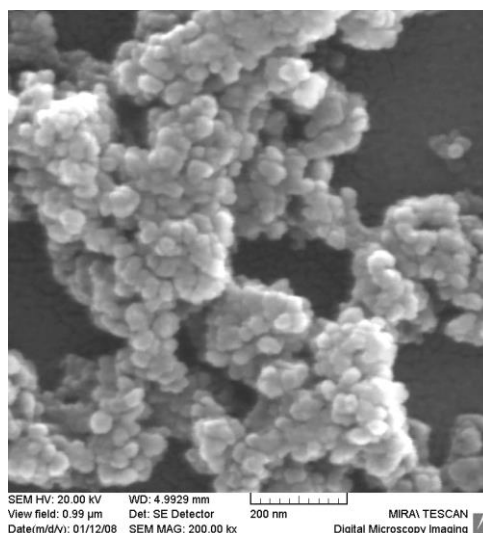
## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1 Materials

Nanodiamonds were obtained by the detonation of explosives with negative oxygen balance in an inert environment. This method is the most widely used and was described inter alia in [12–15]. Single nanodiamonds of the size of 10–20 nm form conglomerates whose size is 100–500 nm (Fig. 1). Dimensions of the nanodiamonds were measured using the „Mira” Scanning Electron Microscope. In order to fragmentize the particulates



before their introduction into the base material, diamond conglomerates were sonicated in alcohol, then mixed with iron powder in the ratio 1:1 and dried in air.



*Fig. 1. The conglomerates of the nanodiamonds*

Ready-made powdered of iron and graphite was used as base materials in the tests. Graphite was introduced in an amount of 0.5 wt.%.

## **2.2. Preparation of samples**

The powder components were mixed in a unit of “drunken barrel” type for 1.5 h. Then the samples were pressed to the relative density of 82–85% using a hydraulic press and sintered in the atmosphere of an endothermic gas or vacuum with temperature 1100 °C.

## **2.3. Mechanical properties and porosity testing**

The “Instron-1195” testing machine was used for strength testing with the cross head speed of 2 mm/min. Compression tests were performed using samples with a diameter of 10 mm, height 12 mm. The compressibility tests were realized using samples 10 mm in diameter and 10 mm in height with different pressures.

The porosity of the sintered materials was determined by gravimetric method.

## **2.4. Tribological testing**

Tribological tests were performed in conditions of distributed contact using the MT-2 tester of “pin-on-disc” type. Rotating counter-bodies were made of C45 steel and had a disc form 110 mm in diameter and hardness 42–45 HRC. They were in contact with the flat surfaces of the three pin samples 10 mm in diameter. Friction tests were carried out with the sliding speed of 2.5 m/s and increasing pressure values until seizure was observed. When wear testing, the time was equal to 1 h with the testing pressure of

3.25 MPa. I-20 industrial oil was used as the lubricant with the flow rate of 4 drops per minute. Such flow rate is typical when friction units operate under severe conditions.

### 2.3. Microstructure and SEM examinations

The microstructure of cross sections of the specimens was examined using an MEF-3 optical microscope. Cross sections were etched in a 4 % solution of a picric acid in an ethyl alcohol. Surface textures, roughness parameters were analyzed using the „Mira” Scanning Electron Microscope.

### 3. Results and discussion

On the basis of the study of compressibility of the initial mixture with the addition of nanodiamonds it was found (Fig. 2) that the adding of 0.5 % nanodiamonds leads to an increase in compressibility of the mixture at a pressure of 200 MPa and a slight decrease in the density of samples pressed at a pressure of 400 and 600 MPa. This is perhaps due to an increase in friction of mixture of base material with the nanodiamonds additive.

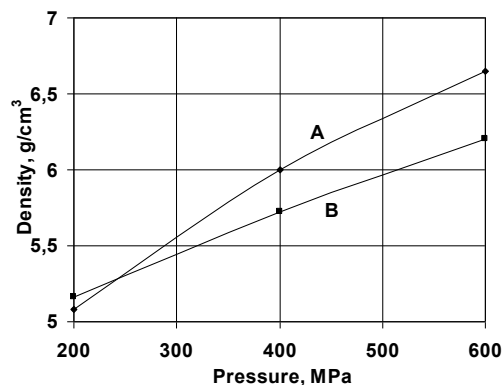


Fig. 2. Compressibility curves of a mixture of powder carbon steel (A) and with the addition of 0.5% nanodiamonds

When sintering, depending on the material composition and sintering temperature an increase in the size of the samples as well as their shrinkage were observed (Fig. 3). The shrinkage of the material is increased when increasing the sintering temperature. The inflation of the material with the addition of the nanodiamonds especially at the sintering temperature 1100 °C can be explained the interaction of nanodiamonds with an iron base with the formation of iron carbides and grain grinding (Fig. 4).

Irregular grain sizes are observed in the structure of the steel without nanodiamonds additives: small recrystallized and large ones formed as a result of grain growth (Fig. 4 a). In the steel with an addition of 0.5% nanodiamonds the structure consists of dispersed grains of uniform size, approximately 5–10 μm, grain boundaries are fine (Fig. 4 b). This is due to a large number of nucleation sites in the form of nanosized impurities

of silicon, calcium, titanium and chromium oxides which are present in nanodiamonds. They are located at the grain boundaries and impede grain growth [14,15].

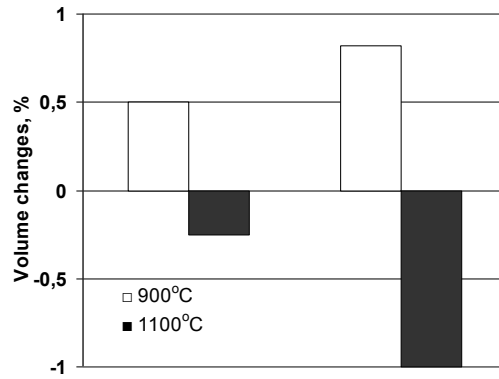


Fig. 3. Volume changes of the powder carbon steel samples after sintering at various temperatures

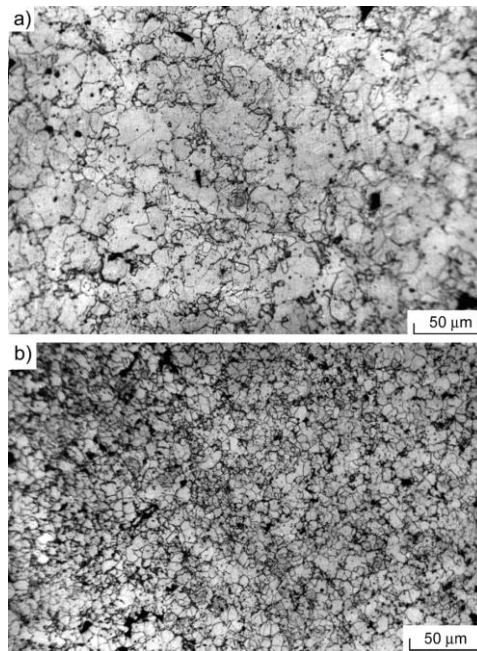


Fig. 4. Microstructures of powder carbon steel (a) and powder carbon steel with 0.5 % of the nanodiamonds ( b)

The sintering atmosphere affects the strength of the powder carbon steel with the addition of the nanodiamonds (Fig. 5). When sintering, the carbon from nanodiamonds dissolves in the iron, strengthening it, so the strength of the material sintered in an endothermic gas is higher than that of the material sintered in vacuum, where carbon is removed from the material. Furthermore, the lower strength of powder steel sintered in vacuum compared with the same sintered in endothermic gas can be explained iron base grain growth during sintering in vacuum refining due boundaries. Differences of the compressive strength values run up to 1.5–3 times. However, the stability of the strength of powder steel sintered in vacuum is much higher compared to steel sintered in an endothermic gas due to more uniform structure.

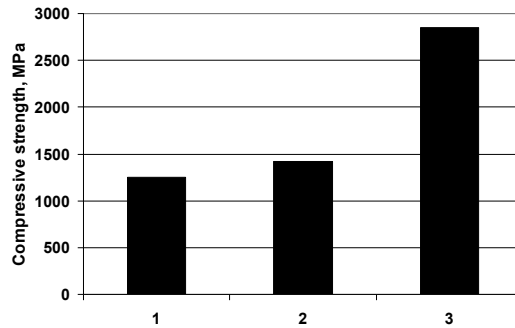


Fig.5. Strength of powder carbon steel sintered in vacuum (1) and powder carbon steel with 0.5% nanodiamonds sintered in vacuum (2) and endogas (3)

The relation between the compressive strength and content of the nanodiamonds is shown in Fig. 6.

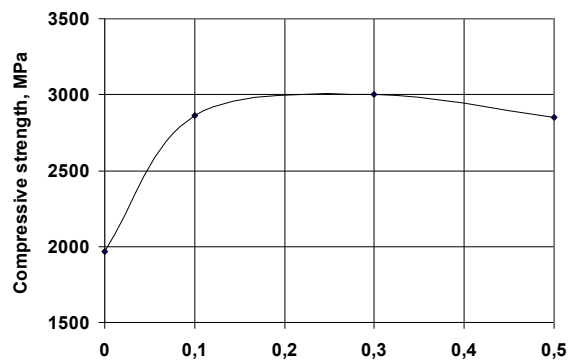


Fig 6. Effect of the content of nanodiamonds on the strength of powder carbon steel

The maximum strength of powder steel is achieved with 0.2-0.3% of nanodiamonds. An increase in nanodiamonds to 0.5% leads to a decrease in strength by 100-150 MPa. This is due to some weakening of the grain boundaries along which nanodiamonds are located due to the presence of oxides in them.

The introduction of nanodiamonds reduces the friction coefficient of powder steel and increases the seizure pressure from 2.8 to 3.7 MPa (Fig. 7).

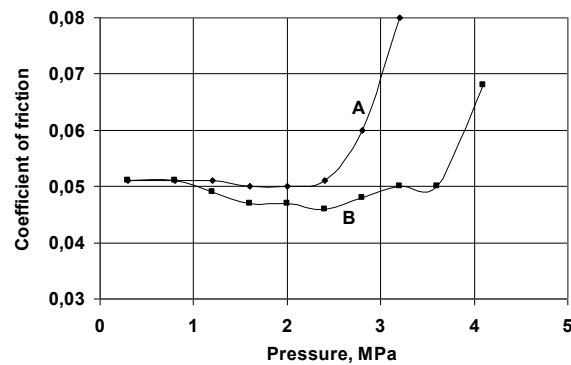


Fig. 7. The effect of pressure on the coefficient of friction of powder carbon steel (A) and powder carbon steel with 0.5 % nanodiamonds (B)

Different characters of wear process are observed for tested materials. In the case of the powdered carbon steel, extensive areas of seizure and tearing out of the material are observed on the wear surface even with a small (25-time) magnification. A greater magnification shows the formation of cracks, mainly on the grain boundaries (Fig. 8 a). The wear surface of powdered carbon steel with 0.5 % nanodiamonds is smooth and, in contrast to the based material the texture of the wear surface is very homogeneous (Fig. 8 b). At high magnification shallow grooves of wear have been revealed. Traces of a seizure on the wear surface are practically absent. This indicates a good running-in of the material, modified by the nanodiamonds and agrees with [11,17], where the possibility of using nanodiamonds for fine polishing is mentioned. Nanodiamonds initiate branching of formed fracture cracks, and as a result the tendency of the material destruction is reduced. A study of the wear surface at high magnifications revealed that the nanodiamonds are located mainly along the grain boundaries, but there is a small amount of them in the grain body.

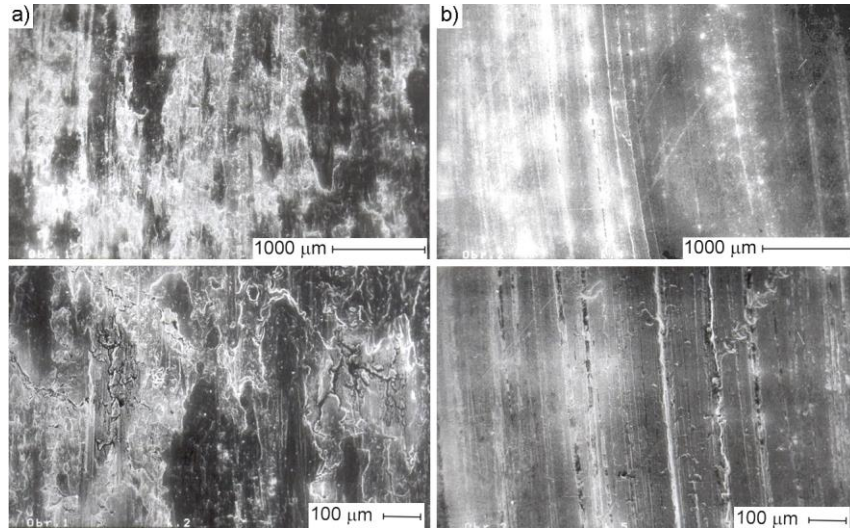


Fig. 8. The morphology of the worn surfaces of powder carbon steel (a) and powder carbon steel with 0.5 % nanodiamonds (b)

The introduction of nanodiamonds improves the wear resistance of powder carbon steel 3.5 times (Fig. 9 a), and reduces the wear of the counter body insignificantly (Fig. 9 b).

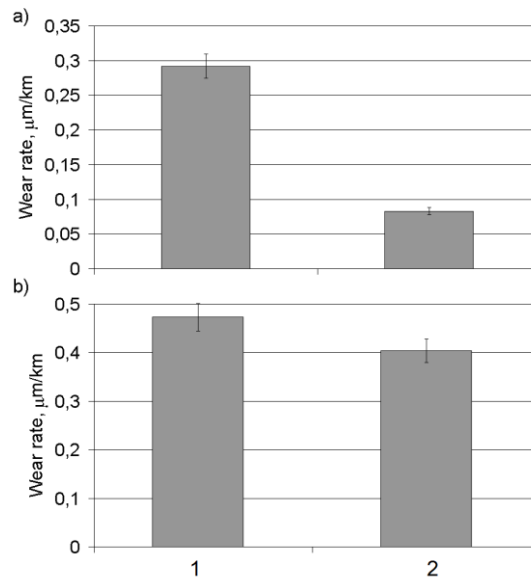


Fig. 9. Wear rates of tested materials (a) powder carbon steel (1) and powder carbon steel with 0.5 % nanodiamonds (2) and of counter bodies ( b)

#### 4. Conclusions

The effect of the introduction of nanodiamonds on the structure and properties of carbon powder steel is studied. It was found:

- the introduction of nanodiamonds makes it possible to obtain a higher density at low pressure of pressing. At higher pressures, the density of the powder steel with the nanodiamonds is slightly lower than in the steel without additives,
- the addition of up to 0.5% nanodiamonds to the powder steel facilitates the grinding of the material structure,
- the introduction of nanodiamonds increases the strength of the powder carbon steel. The optimum content is 0.2–0.3 %. In this case, the compressive strength increases 1.5 times,
- the nanodiamonds presence changes wear features. The coefficients of friction of the powder steel with the nanodiamonds is lower compared to the base material, the seizure pressure is increased about 30 % and the wear resistance increases by 3.5 times.

#### References

- [1] **N.A. Arnold, V.C. Straub, M. Schloder**, *Powder metallurgy bearings*. In: Lee, P.W. (Ed.), *Powder Metal Technologies and Applications*, ASM Handbook, vol. 7. OH, ASM International 1998, p. 2616.
- [2] **C. Cusano**, *Porous metal bearings*. In: Booser, E.R. (Ed.), *Monitoring, Materials, Synthetic Lubricants and Applications*. CRC Handbook of Lubricant and Tribology, Vol. III. New York, CRC Press 1994, p. 491.
- [3] *Processing of Metal-Matrix Composites*. In: Miracle, D.B., Donaldson, S.L., (Eds.), *Composites*. ASM Handbook, vol. 21. OH, ASM International 2001, p. 1359.
- [4] **I. Rack, H.J. Gheorghe**, *Powder Processing of Metal Matrix Composites*. In: *Comprehensive Composite Materials*, vol. 3. Elsevier Ltd. 2004, p. 668.
- [5] **H. Zhu, C. Jar, J. Song, J. Zhao, J. Li, Z. Xie**, *Tribol. Int.*, 48, 2012, p. 78.
- [6] **X. Zhang, J. Ma, J. Yang, Q. Bi, W. Liu**, *Wear*, 271, 2011, p. 881.
- [7] **L. Chang, K. Friedrich**, *Tribol. Int.*, 43, 2010, p. 2355.
- [8] **O. Qin, O. Katsuzo**, *Appl. Surf. Sci.*, 78, 1994, p. 309.
- [9] **O. Qin, O. Katsuzo**, *Trans. Jap. Soc. Mech. Eng. Part C*, 61, 1995, p. 2051.
- [10] **S.A. Chizhik, A.V. Goldade, S.V. Korotkevich, A.M. Dubravin**, *Wear*, 238, 2000, p. 25.
- [11] **S.-Q. Lai, L. Yue, T.-S. Li, Z.-M. Hu**, *Wear* 260, 2006, p. 462.
- [12] **A.M. Staver, N.V. Gubareva, A.I. Lyamkin, E.A. Petrov**, *Combust. Explos. Shock Waves*, 20, 1984, p. 567.
- [13] **P.W. Chen, Y.S. Ding, Q. Chen, F.L. Huang, S.R. Yun**, *Diam. Rel. Mater.*, 9, 2000, p. 1722.
- [14] **A.Ya. Vul, A.E. Aleks'enskiy, A.T. Dideykin**,: *Detonation nanodiamonds: technology, properties and applications*. In: Kharkin, V.N., Bai, C., Kim, S.-C. (Eds.). *Nanosciences and Nanotechnologies*. Oxford, EOLSS Publishers Co Ltd. 2009, p. 832.
- [15] **V.Yu. Dolmatov**, *Russ. Chem. Rev.*, 76, 2007, p. 375.

- [16] **S. Claeys, C. Christopher Avallone, A. De Rege, Y. Trudel, P. Samal,** *Production of Steel Powders. In: Lee, P.W. (Ed.), Powder Metal Technologies and Applications, ASM Handbook, vol. 7. OH, ASM International 1998, p. 294.*
- [17] **K. Hanada, N. Nakayama, M. Mayuzumi, T. Sano, H. Tdakeishi,** *Diam. Relat. Mater., 11, 2002, p. 749.*



## BIBLIOGRAFIA

- [1] **Adam M.**, *WMS- pomocnik w magazynie*, Nowoczesny Magazyn. Pismo o Systemach Składowania i Magazynowania, 4/2011, s.68-69.
- [2] **Adamczewski P.**, *Ku inteligentnej e-logistyce*, Logistyka 5/2013.
- [3] **Adamczewski P.**, *Zintegrowane systemy informatyczne w praktyce*, Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie / Politechnika Śląska, 25/2004, s.339-352.
- [4] **Adamczewski P.**, 2012, *Systemy ERP-BI w rozwoju organizacji inteligentnej [w:] Systemy inteligencji biznesowej jako przedmiot badań ekonomicznych*, Zeszyty Naukowe nr 113, Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice.
- [5] **Arnold N. A., V.C. Straub, M. Schloder**, *Powder metallurgy bearings*. In: Lee, P.W. (Ed.), *Powder Metal Technologies and Applications*, ASM Handbook, vol. 7. OH, ASM International 1998, p. 2616.
- [6]
- [7] **Auksztol J., P. Balwierz, M. Chomuszko**, *SAP. Zrozumieć system ERP*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2016
- [8] **Banaszak Z., Klos S., Mleczko J.**, *Zintegrowane systemy zarządzania*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2011, 2016.
- [9] **Barnes D., Cuming M.**, *Strategiczne zarządzanie operacjami*, PRET S.A., Warszawa 1997.
- [10] **Bartoszewicz B.**, *Projektowanie wdrożenia modułów logistycznych zintegrowanych systemów klasy ERP. Podejście procesowe*, Prace Habilitacyjne / Akademia Ekonomiczna w Poznaniu, Poznań 30/2007, s.305-326.
- [11] **Bicheno J., Holweg M.**: *The Lean Toolbox. The Essential Guide to Lean Transformation* (4th edition). Buckingham: Production and Inventory Control, Systems and Industrial Engineering Books, 2009.
- [12] **Biegus A.**, *Projektowani konstrukcji stalowych według EUROKODU 3, część 4 - Połączenia śrubowe*, Wrocław 2010.
- [13] **Brożyńska M., Lis A., Szymczak M., Kowal K.**: *5xdlaczego. Pierwszy podręcznik metody*. Łódź: 2K Consulting, 2014.
- [14] **Brzeziński M.**, *Organizacja produkcji w przedsiębiorstwie*, Diffin, Warszawa, 2013.
- [15] **Chang L., K. Friedrich**, Tribol. Int., 43, 2010, p. 2355.
- [16] **Chen P.W., Y.S. Ding, Q. Chen, F.L. Huang, S.R. Yun**, *Diam. Rel. Mater.*, 9, 2000, p. 1722.
- [17] **Chizhik S.A., A.V. Goldade, S.V. Korotkevich, A.M. Dubravin**, *Wear*, 238, 2000, p. 25.
- [18] **Claeys S., C. Christopher Avallone, A. De Rege, Y. Trudel, P. Samal**, *Production of Steel Powders*. In: Lee, P.W. (Ed.), *Powder Metal Technologies and Applications*, ASM Handbook, vol. 7. OH, ASM International 1998, p. 294.

- [19] **Cusano C.**, Porous metal bearings. In: Booser, E.R. (Ed.), *Monitoring, Materials, Synthetic Lubricants and Applications*. CRC Handbook of Lubricant and Tribology, Vol. III. New York, CRC Press 1994, p. 491.
- [20] **Dąbrowski K., K. Leksycki, K. Skrzypek**, *Ewolucja systemów zarządzania jakością i produkcją w przemyśle motoryzacyjnym*, Inżynieria produkcji: technologia, jakość, symulacja, Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra, 2018,
- [21] **DIN 25201-1, Part 1: Classification of bolted joints – Appendix A**
- [22] **DIN 25201-2** *Poradnik projektowy dla pojazdów szynowych i ich części - Połączenia śrubowe - Część 2: Projekt - Zastosowania mechaniczne*
- [23] **Dolmatov V.Yu.**, Russ. Chem. Rev., 76, 2007, p. 375.
- [24] **Eppinger S. D. and Browning T. R.** (2012) *Design Structure Matrix Methods and Applications*, MIT Press, Cambridge.
- [25] **Fall K.R., W. R. Stevens**, *TCP/IP od środka. Protokoły*. Wydanie II, Helion, 2013
- [26] **Ficoń K.**, *Logistyka ekonomiczna, Procesy logistyczne*, BEL Studio, Warszawa 2008,
- [27] **Ficoń K.**, *Procesy logistyczne w przedsiębiorstwie*, Gdynia 2001.
- [28] **Fiodorow A.** (2010): *Efektywna organizacja projektów w ramach metodyki Six Sigma*, „Zarządzanie jakością”, nr 3–4.
- [29] **Goliński M.**,: Społeczeństwo informacyjne- często (nie)zadawane pytania, E-mentor nr 2 (9) / 2005.
- [30] **Gordon A.D.**, *Classification*, Chapman and Hall, 2nd Edition, London 1999,
- [31] **Grudzewski W.M., Hejduk I.K.** *Metody projektowania systemów zarządzania*, Difin, Warszawa 2004.
- [32] **Grycuk A.**, *Kluczowe wskaźniki efektywności (KPI) jako narzędzie doskonalenia efektywności operacyjnej firm produkcyjnych zorientowanych na lean*. „Przegląd Organizacji”. 2/2010.
- [33] **Hanada K., N. Nakayama, M. Mayuzumi, T. Sano, H. Tdakeishi**, *Diam. Relat. Mater.*, 11, 2002, p. 749.
- [34] **Harris R., Harris C., Wilson E.**, *Doskonalenie przepływu materiałów*, Wrocław Center for Technology Transfer, Wrocław 2005.
- [35] **Jakimowicz M., Saniuk A., Saniuk S.**, Systemy informatyczne wspomagające produkcję i logistykę w przedsiębiorstwie, *Logistyka* 2/2015, s.258-267.
- [36] **Karaszewski R.** (2009): *Istota przywództwa filaru Totalnego Zarządzania Jakością* „Problemy Jakości”, nr 1.
- [37] **Karpiński T.**, *Inżynieria produkcji*, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 2004
- [38] **Kielec R.**, *New method for engineering projects management with the use of evolutionary algorithm*, W: 7th International Conference on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems, CONFENIS 201., Prague, Czechy, 2013.
- [39] **Kielec R.** (2012), ‘*Matrix method in rationalisation of spacial arranging of machines and devices*’, Zarządzanie przedsiębiorstwem. Teoria i praktyka: XIV mię-

- dzynarodowa konferencja. Kraków 2012, Polska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, s. [8] CD-ROM.
- [40] **Kuczyńska-Chalada M.**, *Proces wdrożenia metody 5S w przedsiębiorstwie produkcyjnym*, w: *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*. Tom 1, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2017, pp. 604-610.
- [41] **Kordel P.**, 2010, *Inteligentne organizacje – zarządzanie wiedzą i kompetencjami pracowników*, Wyd. PARP, Warszawa.
- [42] **Koziar B.**, *Warsztaty SMED jako najlepszy sposób redukcji czasu przebrojenia maszyn i urządzeń*, *Zarządzanie Jakością* 2/2005 r.
- [43] **Kupczyk A., Korolewska-Mróż H., Czerwonka M.**, *Radykalne zmiany w firmie. Od reengineeringu do organizacji uczącej się*, INFOR, Warszawa 1998.
- [44] **Lai S.-Q., L. Yue, T.-S. Li, Z.-M. Hu**, *Wear* 260, 2006, p. 462.
- [45] **Lech P.**, *Zintegrowane systemy zarządzania ERP/ERP II. Wykorzystanie w biznesie, wdrażanie*, Difin, Warszawa, 2003.
- [46] **Lewandowski J.**, *Informatyzacja procesów magazynowych kluczem do rozwoju firmy*, *Instytut logistyki i magazynowania kluczem do rozwoju firmy*, *Logistyka* 5/2015, s. 33-37,
- [47] **Lichtarski J.**, *Podstawy nauki o przedsiębiorstwie*, Wrocław 2001..
- [48] **Liwowski B., R. Kozłowski**, *Podstawowe zagadnienia zarządzania produkcją*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków, 2007
- [49] **Łuczak A., F. Wysocki**, *Porządkowanie liniowe obiektów z wykorzystaniem rozmytych metod AHP i TOPSIS, Przegląd statystyczny*, 2011,
- [50] **Łuczak A., F. Wysocki**, *Programowanie rozwoju w gminie wiejskiej z wykorzystaniem rozmytego analitycznego procesu hierarchicznego*, *Studia regionalne i lokalne*, 2011,
- [51] **Łuczak A.**, *Wykorzystanie rozszerzonej interwałowej metody TOPSIS do przyporządkowania liniowego obiektów*, *Prace naukowe UE we Wrocławiu*, Wrocław 2015,
- [52] **Manikowska K.**, *Connect to what's next IFS*, *Magazyn biznesowy IFS*, 3/2017, s.16-18.
- [53] **Marchwiński Ch., Shook J., Schroeder A.**: *Leksykon Lean*. Ilustrowany słownik pojęć z zakresu Lean Management. Wrocław: Wydawnictwo Lean Enterprise Institute Polska, 2010.
- [54] **Marciniak E.**, *Plany strategiczne*, Wydawnictwo Wiedza i Praktyka, 2016
- [55] **Maszyny, Technologie, Materiały – Technika Zagraniczna: Szybkie przezbrajanie**, 3/2009 r.
- [56] **Matejun M., K. Szymańska**, *Perspektywy rozwoju przedsiębiorczości w warunkach niepewności i ryzyka*, *Monografie PŁ*, Łódź 2013.
- [57] **Matwiejczuk K.**, *Koncepcja i metody zarządzania*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok 2009.
- [58] **Miller J., Wroblewski M., J.Villafuerte**: *Kaizen. Budowanie i utrzymanie kultury ciągłego doskonalenia*. Warszawa: MT Biznes, 2014.

- [59] **Neville L.**, *Planowanie strategiczne w firmie*, Wydawca Onepress, 2005
- [60] **Nowak P.**, *Funkcjonowanie sektora motoryzacyjnego w okresie kryzysu lat 2008 – 2009*, Prace komisji Geografii Przemysłu, nr 17, Warszawa – Kraków, 2001,
- [61] **Nowakowski T., S. Werbińska-Wojciechowska**, Porównanie metod oceny i wyboru dostawców w przedsiębiorstwie – case study, *Logistyka – Nauka*, 2012,
- [62] **Ohno T.; foreword by Norman Bodek** (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*. Portland, Or: Productivity Press.
- [63] **Olchowicz I., A. Tlaczala**, *Sprawozdawczość finansowa*, Difin 2004
- [64] **Pacana A., A. Gazda, P. Wołoszyn**, Wykorzystanie metody 5S do doskonalenia procesów logistycznych, *Modern Management Review* 2014, vol. XIX, 21 (2/2014), pp. 73-80.
- [65] **Paul R. Murphy Jr., Donald F. Wood**, *Nowoczesna logistyka*, One press, 10/2009, s.53-76,
- [66] **Pisek M.**, Zarządzanie MWS. Informatyczne systemy zarządzania. BPSC. Chorzów 2015, s.6-25.
- [67] Processing of Metal-Matrix Composites. In: Miracle, D.B., Donaldson, S.L., (Eds.), *Composites. ASM Handbook*, vol. 21. OH, ASM International 2001, p. 1359.
- [68] **Qin O., O. Katsuzo**, *Appl. Surf. Sci.*, 78, 1994, p. 309.
- [69] **Qin O., O. Katsuzo**, *Trans. Jap. Soc. Mech. Eng. Part C*, 61, 1995, p. 2051.
- [70] **Rack I., H.J. Gheorghe**, Powder Processing of Metal Matrix Composites. In: *Comprehensive Composite Materials*, vol. 3. Elsevier Ltd. 2004, p. 668.
- [71] **RAWAG**, *Obliczenia połączeń śrubowych z ujęciem osiadania powłok antykorozyjnych - Wewnętrzne procedury firmy*.
- [72] **RAWAG**, *Drzwi maszynisty*, Dokumentacja konstrukcyjna firmy.
- [73] **Rohatyński R. i in.**, *Projektowanie współbieżne w budowie maszyn*, Grant nr 7TO 7C0029.
- [74] **Rosenberg J., A. Mateos**, *Chmura obliczeniowa. Rozwiązania dla biznesu*, Helion, 2011
- [75] **Rother M., Harris R.**, *Tworzenie ciągłego przepływu*, Wrocław Center for Technology Transfer, Wrocław 2004.
- [76] **Rudnik K., D. Kacprzak K.**, *Rozmyta metoda TOPSIS wykorzystująca skierowane liczby rozmyte*, Konferencja Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji 2015,
- [77] **Rut J., Kulińska E.**, *Zintegrowany system informatyczny w przedsiębiorstwie Produkcyjnym*, Instytut Organizacji Procesów Wytwórczych Politechnika Opolska, Opole, 2014.
- [78] **Santarek K., B. Skołud, A. Kosieradzka**, Organizacja i zarządzanie produkcją i usługami, w: *Inżynieria produkcji. Kompendium wiedzy*, red. R. Knosala, Wyd. PWE, Warszawa 2017, pp. 23-145.
- [79] **Sąsiadek M.**: *Planowanie I wybór sekwencji montażu we współbieżnym projektowaniu elementów i zespołów maszyn*, Uniwersytet Zielonogórski 2009
- [80] **Skoć A., J.Sapalek**, *Podstawy Konstrukcji Maszyn*, Wyd. naukowe PWN, 2012

- [81] **Sobek M., Durward K., Smalley A.** (2008). *Understanding A3 thinking: a critical component of Toyota's PDCA management system*. A Productivity Press book. Boca Raton, FL: CRC Press/Productivity Press.
- [82] **Soja P., Put D.**, *System klasy ERP jako narzędzie integracji przedsiębiorstwa*, Zeszyty Naukowe / Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, 838/2010, s.121-138.
- [83] **Staver A.M., N.V. Gubareva, A.I. Lyamkin, E.A. Petrov**, *Combust. Explos. Shock Waves*, 20, 1984, p. 567.
- [84] **Trzaskalik T.**, Modelowanie preferencji w wielokryterialnych dyskretnych problemach decyzyjnych – przegląd bibliografii, *Prace Naukowe UE we Wrocławiu* 2016,
- [85] **Wang J.W., C.-H. Cheng, H. Kun-Cheng**, *Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection*, *Applied Soft Computing*, 2009,
- [86] **Wiśniewski C.**, Wpływ wdrożenia zasad Lean Manufacturing na efektywność i jakość, *Problemy Eksploatacji* 2010, nr 2, pp. 35-42.
- [87] **Włodarz K.**, *Skuteczne rozwiązanie problemu samoczynnego luzowania połączeń śrubowych*. Zeszyty Naukowo-techniczne SITK RP, Oddział w Krakowie, Nr 2 (106) 239-246, Kraków 2015
- [88] **Woźniak W., Klos S., Patalas J.**, *Metody implementacji informatycznych systemów zarządzania w przedsiębiorstwach produkcyjnych*, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2008.
- [89] **VDI 2230**, „*Systematic calculation of high duty bolted joints, Joints with one cylindrical bolt*”.
- [90] **Vul A. Ya., A.E. Aleks’enskiy, A.T. Dideykin.**: Detonation nanodiamonds: technology, properties and applications. In: Kharkin, V.N., Bai, C., Kim, S.-C. (Eds.). *Nanosciences and Nanotechnologies*. Oxford, EOLSS Publishers Co Ltd. 2009, p. 832.
- [91] **Zalewski W.**, *Analiza systemów informatycznych wspomagających zarządzanie produkcją w wybranych przedsiębiorstwach*, *Economy and Management* – 4/2011, s.181-192.
- [92] **Zhang X., J. Ma, J. Yang, Q. Bi, W. Liu**, *Wear*, 271, 2011, p. 881.
- [93] **Zhu H., C. Jar, J. Song, J. Zhao, J. Li, Z. Xie**, *Tribol. Int.*, 48, 2012, p. 78.
- [94] **Zimmiewicz K.**, *Współczesne koncepcje i metody zarządzania*, Wydanie II zmienione, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2003.

#### Strony internetowe

- [95] <https://www.bsigroup.com/pl> [dostęp: 09.01.2019]
- [96] <https://www.iaatfglobaloversight.org> [dostęp: 09.01.2019]
- [97] <http://www.qualityaustria.com.pl> [dostęp: 09.01.2019]
- [98] [https://community.plm.automation.siemens.com/siemensplm/attachments/siemensplm/Plant-Simulation-Tecnomatix/181/1/Plant\\_Simulation\\_Fact\\_Sheet\\_book\\_HQ.pdf](https://community.plm.automation.siemens.com/siemensplm/attachments/siemensplm/Plant-Simulation-Tecnomatix/181/1/Plant_Simulation_Fact_Sheet_book_HQ.pdf) (dostęp z dnia 07.04.18 r.)
- [99] [http://isz.weii.tu.koszalin.pl/ISZ5/Informatyczne%20Systemy%20Zarzadzania%205\\_03%2](http://isz.weii.tu.koszalin.pl/ISZ5/Informatyczne%20Systemy%20Zarzadzania%205_03%2)

- [100] LinkedIn: State of Sales in 2016, pp. 3-4, <https://business.linkedin.com/content/dam/me/business/en-us/sales-solutions/resources/pdfs/linkedin-state-of-sales-2016-report.pdf> [dostęp: 10.05.2018].
- [101] Infinite SFA, <https://infinite.pl/oferta/systemy-sfa.html> [dostęp: 20.10.2017].
- [102] Mobile Touch SFA, <http://pl.mobiletouch-fmcg.com/platforma/rozwiazania/sales-force-automation.html> [dostęp: 20.10.2017].
- [103] 4 Mobile Power, <http://4mobilepower.com/> [dostęp: 09.07.2018].
- [104] Comarch SFA Mobile Sales Force, <https://www.comarch.pl/handel-i-uslugi/sfa/mobile-sales-force/> [dostęp: 09.07.2018].
- [105] [www.isomnia.pl/definicje-jakosci/](http://www.isomnia.pl/definicje-jakosci/), dostęp: 20.10.2018.;
- [106] [www.lean-management.pl/](http://www.lean-management.pl/); dostęp: 10.12.2014r,
- [107] [www.inzynierbudownictwa.pl/drukuj,5566](http://www.inzynierbudownictwa.pl/drukuj,5566) dostęp:21.04.2018
- [108] [http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk\\_pdf\\_2018/T2/2018\\_t2\\_641.pdf](http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2018/T2/2018_t2_641.pdf)
- [109] <https://www.the-first.pl/raport-wyzwania-e-commerce-rynek-e-commerce-w-polsce-warty-prawie-50-mld-zlotych/>
- [110] [http://www.wbc.poznan.pl/Content/251091/M.Lewicki-Instrumenty\\_tworzenia\\_wartosci\\_dla\\_klienta\\_w\\_handlu%20elektronicznym.pdf](http://www.wbc.poznan.pl/Content/251091/M.Lewicki-Instrumenty_tworzenia_wartosci_dla_klienta_w_handlu%20elektronicznym.pdf)
- [111] EMIGO, <https://sagra.pl/platforma-emigo/mobilny-emigo/> [dostęp: 09.07.2018]
- [112] LEO SFA, <https://www.assecods.pl/oferta/oprogramowanie-dla-finansow/leo-sfa/> [dostęp: 09.07.2018].
- [113] Cotteleer, M, Lee, F., Inderrieden, E.: Selling The Sales Force to Automation, Organisational Culture. Harvard Bussines Rewiev, 07-08/2006 <https://hbr.org/2006/07/selling-the-sales-force-on-automation> [dostęp: 15.06.2018].
- [114] Materiały informacyjne firmy Sandvik Coromant, [www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com).
- [115] <http://nowoczesnymagazyn.blogspot.com/>
- [116] [https://log4.pl/oferta-36-Still\\_serii\\_GX.html](https://log4.pl/oferta-36-Still_serii_GX.html)
- [117] Romet, <https://www.romet.pl/Produkcja,108,0.html> [dostęp: 31.07.2019].
- [118] Kross, <https://www.kross.pl/pl/firma/produkcja> [dostęp: 31.07.2019].
- [119] Witryna BPMN, <http://www.bpmn.org/> [dostęp: 31.07.2019].
- [120] [http://promag.pl/Koncepcje\\_przeplywu\\_towarow\\_w\\_magazynie,9817.html](http://promag.pl/Koncepcje_przeplywu_towarow_w_magazynie,9817.html)
- [121] <http://www.budownictwo.org/produkt,45977,wozek-widlowy-balance-gdl,231,230,0,1>
- [122] <http://go.sap.com/poland/index.html>
- [123] <https://www.nord-lock.com/pl-pl/>
- [124] <http://wmo.imgw.pl:8080/wwis/009/c00586.htm> (12.07.2017r)

## AUTORZY

**Marcin Bac**, absolwent studiów II stopnia, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Wydział Mechaniczny

**Paweł Bourguois**, GEDIA Poland Sp. z o.o.

**Tomasz Cholewiński**, GEDIA Poland Sp. z o.o.

**Karol Dąbrowski** mgr, Instytut Inżynierii Mechanicznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, e-mail: k.dabrowski@iizp.uz.zgora.pl

**Daniel Dębowski**, dr inż., Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii Mechanicznej, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, e-mail: d.debowski@ibem.uz.zgora.pl

**Larisa Dyachowa**, PhD, head of laboratory of O.V.Roman Powder Metallurgy Institute, Belarusian National Academy of Sciences, Ul. Platonova 41, Minsk, 220005 Belarus, dyachkova@tut.by

**Natalia Fabiś**, absolwentka studiów II stopnia, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Wydział Mechaniczny

**Julian Jakubowski**, dr inż., Uniwersytet Zielonogórski, Filia Uniwersytetu Zielonogórskiego w Sulechowie, Katedra Energetyki, e-mail: j.jakubowski@wzs.uz.zgora.pl

**Roman Kielec**, dr inż. Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii Mechanicznej, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, e-mail: r.kielec@iizp.uz.zgora.pl

**Natalia Kratiuk**, Biznes Elektroniczny, Wydział Informatyki, Elektrotechniki i Automatyki, Uniwersytet Zielonogórski

**Maciej Kwiatkowski**, inż., student studiów II stopnia, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Wydział Mechaniczny

**Sebastian Leśnik**, absolwent studiów I stopnia, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Wydział Mechaniczny

**Angelika Łukaszewska**, Biznes Elektroniczny, Wydział Informatyki, Elektrotechniki i Automatyki, Uniwersytet Zielonogórski

**Julita Maciejewska**, absolwentka studiów I stopnia, kierunek: Budowa i eksploatacja maszyn, Wydział Mechaniczny

**Justyna Patals-Maliszewska**, dr hab. inż., prof. UZ, Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii Mechanicznej, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, e-mail: j.patals@iizp.uz.zgora.pl

**Katarzyna Skrzypek**, dr, Instytut Inżynierii Mechanicznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, e-mail: k.skrzypekk@iizp.uz.zgora.pl

**Małgorzata Śliwa**, dr inż., Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii Mechanicznej, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, e-mail: m.sliwa@iizp.uz.zgora.pl

**Marek Salamaj**, dr inż. Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii Mechanicznej, ul. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra, e-mail: m.salamaj@iizp.uz.zgora.pl